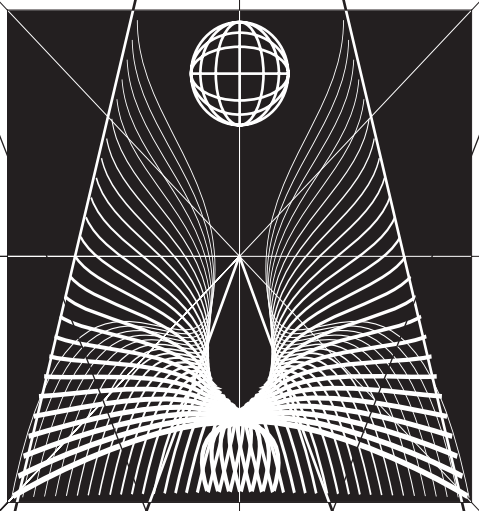
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

МОДЕЛИРОВАНИЕ



НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

№2(22)
2009

© Иркутский государственный университет путей сообщения

Министерство образования и науки Российской Федерации
Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта

Иркутский государственный университет путей сообщения
Иркутский научный центр СО РАН
Российская инженерная академия

Предисловие издателя

Уважаемые читатели!

Редакция научного журнала «Современные технологии. Системный анализ. Моделирование» продолжает свою деятельность по консолидации творческого потенциала ученых и специалистов региона, работающих в современных направлениях машиностроения и транспорта. Серьезное внимание уделяется поддержке научных исследований, ориентированных на приложения аналитических методов в оценке динамических свойств технических объектов и систем, обеспечению безопасности эксплуатации машин и оборудования.

Развитие научных контактов привело на страницы журнала результаты исследований, которые проводятся в отраслевых и вузовских коллективах, академических институтах и за рубежом. В частности, ряд статей представлен научным сообществом Восточного китайского транспортного университета (г. Нан-Чан). Редакция журнала приветствует инициативы научных сотрудников, печатающих свои работы на английском языке.

Опыт общения с зарубежными коллегами может оказаться полезным во многих отношениях. Редакция ждет соответствующих инициатив и предложений!

Напоминаем, что наш подписной индекс в общероссийском каталоге 64556.

Редколлегия

Предисловие издателя

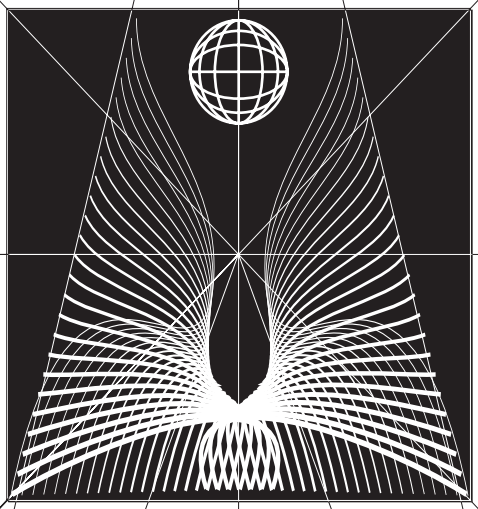
Журнал издается с 2004 г.

Журнал зарегистрирован Министерством Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.
Свидетельство ПИ №13-0547 от 24 декабря 2003 г.
Учредитель: Иркутский государственный университет путей сообщения

© Издательство Иркутского государственного университета путей сообщения

Министерство образования и науки Российской Федерации
Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Иркутский государственный университет путей сообщения
Иркутский научный центр СО РАН
Российская инженерная академия

Современные технологии
Системный анализ
Моделирование



НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

№2(22)
2009

Редакционная коллегия

А.П. Хоменко - Профессор, главный редактор, ИрГУПС

С.В. Елисеев - профессор, зам.главного редактора, ИрГУПС

С.В. Белокобыльский, профессор, ректор БрГТУ
А.В. Баденников, профессор, ректор АГТА
Ю.Н. Резник, профессор, ректор ЧГУ
И.В. Бычков, директор Института динамики систем и теории управления СО РАН, член-корр. РАН
Б.Ю. Виноградов, ректор САПЭУ
Н.И. Воропай, директор Института систем энергетики-СО РАН, член-корр. РАН
М.И. Кузьмин, пред. Президиума ИНЦ СО РАН, академик РАН

Журнал издается с 2004 г.

Ответственный за выпуск С.В.Елисеев
Дизайн и макет издания Е.В.Хохрин
Компьютерная верстка А.В. Димов

© Издательство Иркутского государственного университета путей сообщения

Министерство образования и науки Российской Федерации
Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Иркутский государственный университет путей сообщения
Иркутский научный центр СО РАН
Российская инженерная академия

Современные технологии
Системный анализ
Моделирование

СОДЕРЖАНИЕ

Раздел 1. Механика. Транспорт. Машиностроение. Технологии.

Хоменко А.П., Елисеев С.В. Устойчивость колебаний в двумерных системах с нетрадиционными связями 8
Мижидон А.Д., Баргуев Н.В., Лебедева Н.В. К исследованию виброзащитной системы с упругим основанием 13
Ефремов И.М., Фигура К.Н. Использование метода физического моделирования при расчете роторно-вибрационного смесителя 21
Кузнецов А.М., Якимов С.А., Янушкин А.С., Лобанов Д.В. Расчет напряжений, возникающих при затачивании твердо-сплавного инструмента с малым углом заострения 25
Обрывалин А.В. Обрабатываемость резанием материала вагонных колес повышенной твердости при наличии эксплуатационных дефектов 30
Лапшин В.Л., Ященко В.П., Перелыгина А.Ю., Деманков Е.И. Влияние упругопластических параметров блока механореологической модели на силу ударного взаимодействия сферического тела с плоской поверхностью 36
Лузгин В.В. Идентификация динамики выдвижного звена манипулятора робототехнического комплекса 41
Пекарь К.А., Руш Е.А., Халиуллин А.К. Перспективы и проблемы одновременной переработки серосодержащих и хлорорганических отходов 44
Кобзов Д.Ю., Кобзов А.Ю., Лханаг Д. О потерях на трение в гидроцилиндрах машин 47
Туйгунова А.Г. Совершенствование технического содержания изоляционной системы трансформаторов тяговых подстанций с учетом особенностей климата на основе непрерывного контроля 51
Мартьянов В.И., Пахомов Д.В., Архипов В.В. Организация рационального управления содержанием региональной сети автомобильных дорог 55
He Renwang Calculation of fault current on electric traction network with series compensators 62
He Bolin, Yu Yingxia, Li Qiuping. Preparation of the porous ceramics of Al2A3-TIB2 system by self-propagating high-temperature synthesis method 64
Wu Cai-bin, Xiang Su-lin, Dong Zhong-zhen, Bu Jing-jing. The experimental research of valuable metals' recovery from waste printed circuit boards 67
Тюпин В.М. Результаты сейсмического действия наземного взрыва на объекты железных дорог 73
Новосельцев П.В., Купцов Ю.А. Исследование взаимодействия грузового железнодорожного состава и локомотива на основе натурных экспериментов 77
Рябов И.М., Воробьев В.В., Упырь Р.Ю., Логунов А.С., Насников Д.Н. Экспериментальные исследования амортизирующих устройств транспортных средств 81
Ермошенко Ю.В., Фомина И.В. Динамическое гашение в виброзащитных системах с использованием Г-образных рычажных связей 85
Шастин В.И., Сливинская Л.П. Комбинированный способ очистки металлических поверхностей 89
Xiong Guanggyao, Zhou Zejie, He Bolin, Zhao Longzhi. Effect of rare earth on the QPQ Treatment on the dies steel 94
Лукьянов Д.А., Куцый Н.Н. Исследование, моделирование и оптимизация динамических характеристик мотор-вентиляторов электровозов 97
Ереско С.П., Докшанина И.И. Исследование контактных напряжений в подшипнике качения с учетом сил трения 108

Министерство образования и науки Российской Федерации
Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Иркутский государственный университет путей сообщения
Иркутский научный центр СО РАН
Российская инженерная академия

Современные технологии
Системный анализ
Моделирование

СОДЕРЖАНИЕ

Раздел 2. Управление в технических системах. Моделирование.

Новиков М.А. О приложении форм выше второго порядка в задачах устойчивости движения 114
Антошкин С.Б., Мухопад Ю.Ф., Пунсык-Намжилов Д.Ц. Статистический метод анализа аналого-цифрового преобразователя информации 119
Упырь Р.Ю. Обоснование возможностей расширения элементной базы колебательных систем 123
Chunhua Li. On fazzy congruences of abundant semigroups 128
Baogen Xu. On reverse signed domination numbers of graphs 132
Гоппе Г. Г. Алгоритм энергосберегающего управления асинхронным двигателем (АД) при изменении нагрузки вниз от оптимальной 137
Шаманов В.И., Суров В.П. Измерения, контроль и диагностика параметров рельсовых цепей 143
WANG Sen. Application prospect and methods of genetic algorithms in intelligence design 148
Иванов С.С. Регулятор устойчивости с точки зрения повышения эффективности системы 153
Ешенко А.А. Синтез двумерной системы автоматического управления процессом выработки листового стекла 158

Раздел 3. Системный анализ и междисциплинарные подходы в исследованиях.

Панченков А.Н. Принципы оптимальности современной науки: совместный анализ 164
Сидоров И. А., Опарин Г.А., Феоктистов А.Г. Технология организации распределенных вычислений в инструментальном комплексе DISCOMP 175
Краковский Ю.М., Яхина А.С. Прогнозирование динамики развития регионального рынка образовательных услуг 180
Елисеев С.В. Взаимосвязь критериев качества и динамических параметров производственных систем 185
Aihan Yin, Li Li, Aiyun Zhan, Xinliang Zhang. Analysis of modulation format in WDM-pon optical communication system 190
Zhou Liping. On improving students' memory in english learning 196
Fu Qin-cui, Liu Zi-ying, Fu Ke-jia. Research of iec60870-5-104 protocol and design of communication software based on finite state machines 198
Liu Jue-fu, Liu Gao-yuan, Li Bo, Shi Yu-zhen. Research on grid computing management model based on mobile agent 203
Jiang Xiangang, Xu Miaocun, Jiang Xiaojun. Software designing of geometry distortion adjustment in machine vision 205
Mo Jia. Storage of XML data through fine granularity relation 210
Fan Yong, Xiong Yue. The countermeasures research on constructing harmonious society of China 212
Tao Yuchun, Xu Zhenning. Analysis on employees' career safety of railway transport enterprises 216
Zhao Xiaojing. Limitations and possibilities of task-based language assessment 219
Mao Xiaodun, Xu Zhenning Discussion on Management of Nanchang Joint venture railways 227
Лонцих П.А. Анализ и оценка эффективности систем качества. Разработка политики в области качества и целей 229

Аннотации опубликованных статей 235
Сведения об авторах 256

Министерство образования и науки Российской Федерации
Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Иркутский государственный университет путей сообщения
Иркутский научный центр СО РАН
Российская инженерная академия

Modern technologies
System analysis
Modeling

CONTENTS

Part 1. Mechanics. Transport. Mechanical engineering. Technologies.

Khomenko A.P., Eliseev S.V. Stability of fluctuations in bidimentional systems with nonconventional ties 8
Mizhidon A. D., Barguev S.V., Lebedeva N.V. To research of vibroprotection systems with the elastic basis 13
Efremov I.M., Figura K.N. Usage method of physical modelling at calculation of the rotor-vibrating amalgamator 21
Kuznetsov A.M., Jakimov S.A., Janjushkin A.S., Lobanov D.V. Calculation of the pressure arising at sharpening of hard-alloy tool with a small corner of a point 25
Obrivalin A.V. Machinability of material cutting of carload wheels of the raised hardness at presence of operational defects 30
Lapshin V.L., Yashenko V.P., Perelygina A.U., Demakov E.I. The influence of the parameters of the elastic - plastic block of the mechanoreological model on force of contact interaction a spherical body with a flat surface 36
Luzgin V.V. Identification of dynamics pushed link of manipulator of robotics complex 41
Peckar' K.A., Rush E.A., Haliullin A.K. The prospect and problems of simultaneous processing of sulfur content and chlorineorganic waste 44
Kobzov D.Yu., Kobzov A.Yu., Lkhanag D. About losses on friction in hydrocylinders of machine 47
Tajgunova A.G. The perfection of a maintenance of isolation systems of traction substations transformers in view of features of a climate on the basis of the continuous control 51
Marjianov V.I., Pakhomov D.V., Arkhipov V.V. Organization of rational management of maintenance of regional highways network 55
He Renwang Calculation of fault current on electric traction network with series compensators 62
He Bolin, Yu Yingxia, Li Qiuping. Preparation of the porous ceramics of Al2A3-TIB2 system by self-propagating high-temperature synthesis method 64
Wu Cai-bin, Xiang Su-lin, Dong Zhong-zhen, Bu Jing-jing. The experimental research of valuable metals' recovery from waste printed circuit boards 67
Tjupin V.N. The result of seismic action of ground nuclear explosion on objects of railways 73
Novosseltsev P.V., Kuptsov J.A. The study of interaction of a freight train and a locomotive on the basis of full-scale experiments 77
Ryabov I.M., Vorobjev V.V., Upyr' R.Yu., Logunov A.S., Nasnikov D.N. Experimental researches of amortize devices of vehicles 81
Ermoshenko Yu.V., Fomina I.V. Dynamic clearing in vibroprotection systems with use of G-shaped lever ties 85
Shastin V.I., Slivinskaya L.P. Combinative method of clearing 89
Xiong Guanggyao, Zhou Zejie, He Bolin, Zhao Longzhi. Effect of rare earth on the QPQ Treatment on the dies steel 94
Lukyanov D.A., Kucyi N.N. Research, simulation and optimization of dynamic characteristics of motor - blowers of electric locomotives 97
Eresko S.P., Dokshanina I.I. Research of contact pressure in the antifriction bearing in view of forces of friction 108

Министерство образования и науки Российской Федерации
Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Иркутский государственный университет путей сообщения
Иркутский научный центр СО РАН
Российская инженерная академия

Modern technologies
System analysis
Modeling

CONTENTS

Part 2. Control in technical systems. Modelling

Novickov M.A. On Application of the Forms Higher Than the Second Power to Problems of Stability of Motion 114
Antoshkin S.B., Mukhopad Yu.F., Punsyk-Namzhilov D.Ts. A statistical method of the analysis of the information analog-digital converter 119
Upyr' R.Yu. The substantiation of expansion opportunities of element base of oscillatory systems 123
Chunhua Li. On fazzy congruences of abundant semigroups 128
Baogen Xu. On reverse signed domination numbers of graphs 132
Goppe G.G. Suggesting AC motors control algorithm intake voltage when loads less than optimum 137
Shamanov V.I., Surov V.P. The measurement, the control and diagnostics of parameters of rail circuits 143
WANG Sen. Application prospect and methods of genetic algorithms in intelligence design 148
Ivanov S.S. Stability regulator from the point of increase of the system efficiency 153
Eshenko A.A. Synthesis of bidimentional system of automatic control of development processes of sheet glass 158

Part 3. System analysis and intersubject approaches in researches.

Panchenkov A.N. Principles of an optimality of a modern science: the joint analysis 164
Sidorov I.A., Oparin G.A., Feoktistov A.G. Technology of the distributed calculations organization in tool complex DISCOMP 175
Krakovskij Yu.M., Yachina A.S. Forecasting of dynamics of development of the regional market of educational services 180
Eliseev S.V. Interrelation of quality criteria and dynamic parameters of industrial systems 185
Aihan Yin, Li Li, Aiyun Zhan, Xinliang Zhang. Analysis of modulation format in WDM-pon optical communication system 190
Zhou Liping. On improving students' memory in english learning 196
Fu Qin-cui, Liu Zi-ying, Fu Ke-jia. Research of iec60870-5-104 protocol and design of communication software based on finite state machines 198
Liu Jue-fu, Liu Gao-yuan, Li Bo, Shi Yu-zhen. Research on grid computing management model based on mobile agent 203
Jiang Xiangang, Xu Miaocun, Jiang Xiaojun. Software designing of geometry distortion adjustment in machine vision 205
Mo Jia. Storage of XML data through fine granularity relation 210
Fan Yong, Xiong Yue. The countermeasures research on constructing harmonious society of China 212
Tao Yuchun, Xu Zhenning. Analysis on employees' career safety of railway transport enterprises 216
Zhao Xiaojing. Limitations and possibilities of task-based language assessment 219
Mao Xiaodun, Xu Zhenning Discussion on Management of Nanchang Joint venture railways 227
Lontsikh P.A. The analysis and estimation of system efficiency of quality. Development of policy in the field of quality and the purposes 229

The abstracts of published articles 235
Information about the authors 256

Уважаемые коллеги!
Мы приглашаем Вас к участию в нашем журнале в качестве авторов, рекламодателей и читателей и сообщаем требования к статьям, принимаемым к публикации

Статья представляется в электронном и распечатанном виде. Рекомендуемый объем статьи до 8 стр.

К статье прилагаются:

!1) акт экспертизы; внешний отзыв;

!2) индекс УДК;

!3) сведения об авторах: **фамилия, имя, отчество, ученая степень, звание и должность**, название учреждения (кафедры), контактный телефон или E-mail;

!4) аннотация по образцу (**на русском и английском языках**):

УДК 621.879

Иванов И.И., Петров П.П. Совершенствование систем разработки угольных месторождений // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №1(21). С. __-__. 5 Рис. 2 Табл. Библиогр.: С. __ (9 назв.).

Рассмотрены способы разведки ...

Ключевые слова: месторождение, выработка, скважина.

UDC 621.879

Ivanov I.I., Petrov P.P. Improvement of systems of working out of coal deposits // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #1(21). P. __-__. Fig. 5. Tab. 2. Ref. 9.

Ways of investigation of deposits are considered ...

Keywords: deposit, development, chink.

Количество знаков в реферате - не более 400.

Индекс УДК, сведения об авторах и аннотации предоставляются в виде файла с расширением *.doc.

5) **Текст статьи предоставляется в виде файла с расширением *.doc** - документа, построенного средствами Microsoft Word 97 или последующих версий, **и распечаткой** на стандартных листах формата А4 (210х297 мм) вдве колонки, заверенной подписью авторов.

При наборе статьи в Microsoft Word с учетом формата издания рекомендуются следующие установки:

- параметры **страницы** и абзаца: отступы сверху и снизу - **2.5 см;** слева и справа - **1.75 см; табуляция** - **2 см;** ориентация - книжная;
- шрифт - **Times New Roman,** размер - 11, межстрочный интервал - одинарный, перенос слов - автоматический;
- **Текст статьи разбивается в две колонки с помощью команды "Форматирование -> Колонки" со следующими параметрами: ширина колонки: 8,5 см, промежуток: 0,5 см.**
- При вставке формул использовать **Microsoft Equation 3** при установках: элементы формулы выполняются ***курсивом;*** для греческих букв и символов назначать шрифт Symbol, для остальных элементов - шрифт **Times New Roman** (использование букв русского алфавита в формуле нежелательно). Размер символов: обычный - 11 пт, крупный индекс - 7 пт, мелкий индекс - 5 пт, крупный символ - 18 пт, мелкий символ - 11 пт. Все экспликации элементов формул в тексте также необходимо выполнять в виде формул.

6) **Рисунки,** вставленные в текст статьи, должны быть выполнены с разрешением 300 dpi, B&W - для черно-белых иллюстраций, Grayscale - для полутонов, максимальный размер рисунка с надписью: ширина 150 мм, высота 245 мм, представлены **на компакт-диске** в виде файла с расширением *.bmp, tif **и распечаткой** на стандартных листах формата А4, должны допускать перемещение в тексте и возможность изменения размеров. Схемы, графики выполняются во встроенной программе MS Word или в MS Excel, с приложением файлов.

7) **Библиографический список** к статье оформляется **в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.5-2008. "Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления".**

8) Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взымается.

9) Все материалы должны быть представлены в редакцию **на компакт-диске,** проверенном на отсутствие вирусов.

Редакция оставляет за собой право отклонять статьи, не отвечающие указанным требованиям.

По вопросам публикации статей обращаться:

г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15. Офис А-101. Иркутский государственный университет путей сообщения.
Телефоны: **(8-3952)59-84-28, (8-3952)63-83-26.** Факс: **(8-3952) 59-84-28.** Email: **eliseev_s@inbox.ru**
Елисеев Сергей Викторович, Упырь Роман Юрьевич

Министерство образования и науки Российской Федерации
Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта

Иркутский государственный университет путей сообщения
Иркутский научный центр СО РАН
Российская инженерная академия

Современные технологии

Системный анализ

Моделирование

Раздел 1.

Механика. Транспорт.
Машиностроение. Технологии.

Содержание научного журнала:

- Инженерная механика
- Транспортные средства
- Энергетика и электромеханика
- Строительство, материалы и конструкции
- Охрана окружающей среды
- Автоматизация технологических процессов
- Современные технологии
- Системный анализ
- Моделирование технических систем
- Транспортные системы
- Телекоммуникации и связь
- Управление техническими системами
- Информационные технологии

Хоменко А.П., Елисеев С.В. УДК 531.4

УСТОЙЧИВОСТЬ КОЛЕБАНИЙ В ДВУМЕРНЫХ СИСТЕМАХ С НЕТРАДИЦИОННЫМИ СВЯЗЯМИ

Математические модели двумерных систем обладают определенными преимуществами в оценке динамических свойств, что отмечалось в ряде работ [1÷4]. В числе возможных вариантов распространения таких подходов вполне перспективным является выбор виброзащитных систем с двумя степенями свободы [5÷7]. Если расчетная схема имеет рычажные связи, как это показано на рис. 1 *а, б,* то выражения для кинетической и потенциальной энергии примут соответственно вид для рычагов первого рода:

$$T=\frac{1}{2}m_1\dot{y}_1^2+\frac{1}{2}m_3\dot{y}_3^2+\frac{1}{2}m_3'(y_3')^2+\frac{1}{2}m_2\dot{y}_2^2, \quad (1)$$

$$\begin{aligned}\Pi&=\frac{1}{2}k_1(y_1-z_1)^2+\frac{1}{2}k_2(y_3-y_1)^2+\\&+\frac{1}{2}k_3\left(y_3'-y_2\right)^2+\frac{1}{2}k_4(y_2-z_2);\end{aligned} \quad (2)$$

где $y_3=iy_3$, а $i=-l_2/l_1$. Для рычага второго рода

$$T=\frac{1}{2}m_1\dot{y}_1^2+\frac{1}{2}m_3\dot{y}_3^2+\frac{1}{2}m_2\dot{y}_2^2+\frac{1}{2}m_3'\ (\dot{y}_3'), \quad (3)$$

$$\begin{aligned}\Pi&=\frac{1}{2}k_1(y_1-z_1)^2+\frac{1}{2}k_2(y_3-y_1)^2+\\&+\frac{1}{2}k_3\left(y_2-y_3'\right)^2+\frac{1}{2}k_4(y_2-z^2{}_2),\end{aligned} \quad (4)$$

где $y_3'=iy_3$, а $i=l_2/l_1$, $l_1=OA$, $l_2=OB$.

Произведем соответствующие преобразования,

$$\frac{\partial T}{\partial\dot{y}_1}=m_1\dot{y}_1,\ \frac{\partial T}{\partial\dot{y}_2}=m_2\dot{y}_2,\ \frac{\partial T}{\partial\dot{y}_3}=m_3\dot{y}_3+m_3'i^2\dot{y}_3,$$

$$\frac{\partial\Pi}{\partial y_1}=k_1y_1-k_1z_1+k_2y_1-k_2y_3,$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial\Pi}{\partial y_2}&=k_3y_2-k_3y_3'+k_4y_2-k_4z_2=\\&+k_3y_2-k_3y_3\cdot i+k_4y_2-k_4z_2,\end{aligned}$$

$$\frac{\partial\Pi}{\partial y_3}=k_2y_3-k_2y_1+k_3y_3i^2-k_3y_2,$$

тогда уравнения движения примут вид

$$\begin{cases}m_1\ddot{y}_1+y_1(k_1+k_2)-k_2y_3=k_1z_1, & (5)\\ m_2\ddot{y}_2+y_2(k_3+k_4)-k_3y_3i=k_4z_2, & (6)\\ m_3\ddot{y}_3(m_3+i^2m_3')+y_3(k_2+k_3i^2)-y_2k_3i-k_2y_1=0. & (7)\end{cases}$$

Для рычага второго рода имеем

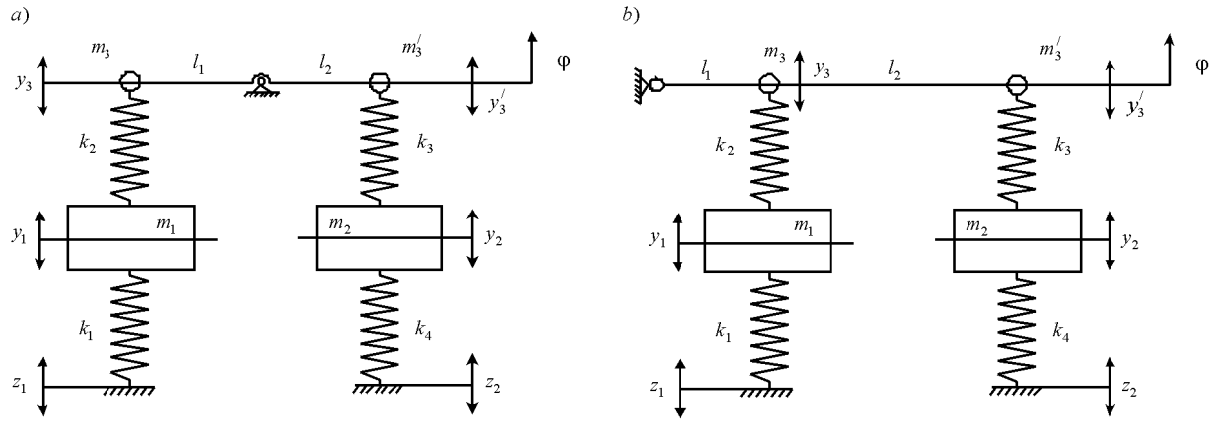


Рис. 1. Расчетные схемы ВЗС с рычажными связями: а) рычаги первого рода; б) рычаги второго рода

$$\left.\begin{aligned}
\frac{\partial \Pi}{\partial y_1} &= k_1 y_1 - k_1 z_1 + k_2 y_1 - k_2 y_3, \\
\frac{\partial \Pi}{\partial y_2} &= k_3 y_2 - k_3 i y_3 + k_4 y_2 - k_4 z_2, \\
\frac{\partial \Pi}{\partial y_3} &= k_2 y_3 - k_2 y_1 + k_3 i^2 y_3 - k_3 i y_2.
\end{aligned}\right\} \qquad (8)$$

и соответственно – уравнения движения в виде

$$m_1 \ddot{y}_1 + y_1(k_1 + k_2) - k_2 y_3 = k_1 z_1, \qquad (9)$$

$$m_2 \ddot{y}_2 + y_2(k_3 + k_4) - k_3 i y_3 = k_4 z_2, \qquad (10)$$

$$\ddot{y}_3(m_3 + i^2 m_3') + y_3(k_2 + k_3 i^2 y_3) - y_2 k_3 i - k_2 y_1 = 0. \qquad (11)$$

Сопоставления показывают, что уравнения (5) и (9) идентичны, также как и уравнения (6) и (10) и (7), (11). Однако, в отмеченных уравнениях (6), (10) и (7), (11) имеется разница, которая проявляется в особенностях действия рычажных связей: в рычагах первого рода (рис. 1, а) передаточное отношение $i = -\frac{l_2}{l_1}$, что свидетельствует не только о масштабировании взаимодействия, но и о перемене знака; во втором случае, что соответствует рычагу второго рода $i = l_2 / l_1 -$ «масштабирование» сохраняется, но изменения направления движения не происходит. Следует оговориться, что рычаги первого и второго рода в этом случае рассматриваются как прямолинейные стержни. В принципе, от этого положения можно отступить и принять во внимание возможность использования изогнутых (Г-образных) рычагов, тогда необходимо учитывать рычажные взаимодействия, имеющие свою специфику для определения соотношения векторов скорости движения.

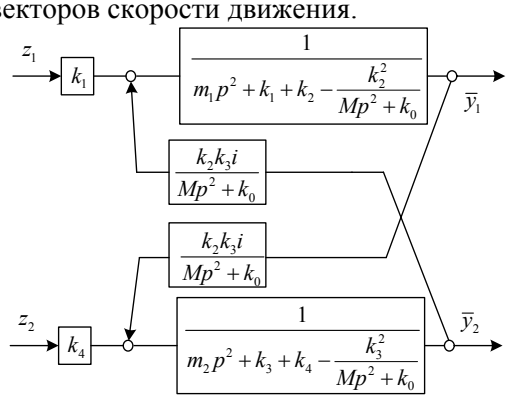


Рис. 2. Двумерная структурная схема системы, расчетная схема которой приведена на рис. 1 а, б: $i = -l_2 / l_1$ - соответствует рычагам первого рода; $i = l_2 / l_1 -$ соответствует рычагам второго рода

На рис. 2 представлены двумерные модели виброзащитных систем, представленных на рис. 1 а, б соответственно. Из уравнения (11) можно установить связи между перемещениями точек механической системы:

$$y_3 = \frac{k_2 y_1 + k_3 i y_2}{Mp^2 + ky}, \qquad (12)$$

где $M = m_3 + m_3' i^2$, $k_0 = k_2 + k_3 i^2$.

Перепишем уравнения (5), (6) в виде

$$m_1 \ddot{y}_1 + y_1(k_1 + k_2) - \frac{k_2(k_2 y_1 + k_3 i y_2)}{Mp^2 + k_0} = k_1 z_1, \qquad (13)$$

$$m_2 \ddot{y}_2 + y_2(k_3 + k_2) - \frac{k_3(k_2 y_1 + k_3 i y_2)}{Mp^2 + k_0} = k_2 z_2. \qquad (14)$$

Отметим, что использование рычажных связей первого и второго рода привносит в схемы связи разного вида, поскольку i имеет значение (+) для рычагов второго рода.

Для рычажных связей второго рода в отношении (9) и (10) получим в конечном итоге, уравнения вида (13), (14). Однако в них имеется разница: когда они используются для описания систем с рычагами первого рода $i = -\frac{l_2}{l_1}$, что формирует отрицательную связь между парциальными блоками (рис. 2). При рычажных взаимодействиях 2-ого рода $i = l_2 / l_1$, формируется не отрицательная, а положительная перекрестная связь между парциальными системами. В свою очередь, из выражения (7), (11) имеем

$$\bar{y}_3 = \frac{k_2 y_1 + k_3 i y_2}{Mp^2 + k_0}, \qquad (15)$$

тогда

$$m_1 \ddot{y}_1 + y_1(k_1 + k_2) - \frac{k_2(k_2 y_1 + k_3 i y_2)}{Mp^2 + k_0} = k_1 z_1, \qquad (16)$$

$$m_2 \ddot{y}_2 + y_2(k_3 + k_4) - \frac{k_3(k_2 y_1 + k_3 i y_2)}{Mp^2 + k_0} = k_4 z_2. \qquad (17)$$

Для изучения особенностей влияния рычажных связей примем, что $m_3 = m_3' = 0,\ k_1 = k_2 = k_3 = k_4 = k,\ M = 0,\ k_0 = 2k$. В этом случае парциальные блоки будут одинаковыми, но перекрестные связи (рис. 3 *а, б*) будут разными, поэтому будут разными частотные уравнения.

Возьмем систему уравнений (13), (14)

$$m\ddot{y}_1 + 2ky_1 - \frac{k(y_1 + iy_2)}{2k} = kz_1, \qquad (18)$$

$$m\ddot{y}_2 + 2ky_2 - \frac{k^2 i(y_1 + iy_2)}{2k} = kz_2. \qquad (19)$$

или

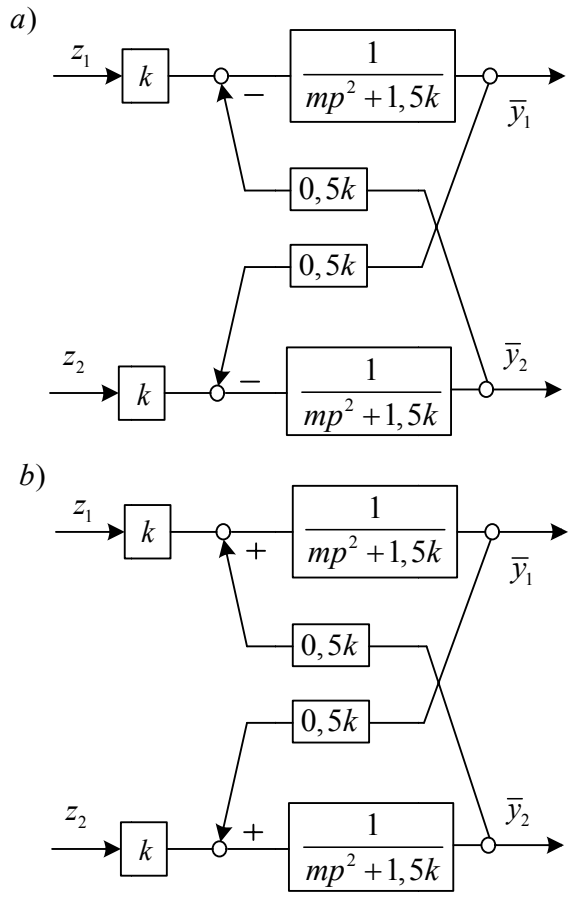


Рис. 3. Структурные схемы двумерной ВЗС, соответствующей расчетным схемам на рис. 1 а, б: а) – рычаг первого рода; б) – рычаг второго рода

$$m\ddot{y}_1 + y_1(1,5k) - 0,5iky_2 = kz_1, \qquad (20)$$

$$m\ddot{y}_2 + y_2(2k - 0.5ki^2) - 0,5kiy_1 = kz_2. \qquad (21)$$

Если принять $i = -1$, то получим

$$m\ddot{y}_1 + 1,5ky_1 + 0,5ky_2 = kz_1, \qquad (22)$$

$$m\ddot{y}_2 + 1,5ky_2 + 0,5ky_1 = kz_2. \qquad (23)$$

При $i = 1$ имеем соответственно:

$$m\ddot{y}_1 + 1,5ky_1 - 0,5ky_2 = kz_1, \qquad (24)$$

$$m\ddot{y}_2 + 1,5ky_1 + 0,5ky_2 = kz_2. \qquad (25)$$

Используя (22), (23), найдем главные частоты колебательной системы с рычагом первого рода (рис. 3 *а*) – $\omega_{1,2}^2 = \frac{2k}{m}$, то есть главные частоты равны. Для случая (24, 25) имеем соответственно – (рис. 3 *б*) $\omega_{1,2}^2 = \frac{k}{m}$.

Частотное уравнение системы (рис. 3 *а, б*), перепишем в виде

$$\left(m_1p^2 + k_1 + k_2 - \frac{k_2^2}{Mp^2 + k_0}\right)\times$$
$$\times\left(m_2p^2 + k_3 + k_4 - \frac{k_3^2i^2}{Mp^2 + k_0}\right) \pm \frac{k_3^2k_2^2i^2}{\left(Mp^2 + k_0\right)^2}. \qquad (26)$$

Знак (-) перед последним членом выражения (26) соответствует рычажной связи первого рода, а знак (+) отражает положительную обратную связь, вводимую рычагом второго рода. Если принять $i = -1$, то можно получить частотное уравнение

$$(mp^2 + 1,5k)(mp^2 + 2k - 0,5k) - 0,25k^2 = 0 \qquad (27)$$

или

$$m^2p^4 + 3mp^2k + 2,25k^2 - 0,25k^2 = 0, \qquad (28)$$

откуда

$$(\omega_{соб1,2}^2)^2 = \frac{3k}{2m} \pm \sqrt{\frac{9k^2 - 8k^2}{4m^2}} = \frac{3k \pm k}{2m}. \qquad (29)$$

Таким образом, собственные частоты системы (рис. 1 *а*) имеют вид:

$$\omega_{1,соб}^2 = \frac{k}{m}, \qquad (30)$$

$$\omega_{2,соб}^2 = \frac{2k}{m}, \qquad (31)$$

Если связь реализуется рычагом второго рода, то уравнение частот (26) изменяется, так как связь будет носить положительный характер, поэтому частотное уравнение можно записать

$$(mp^2 + 1,5)k)^2 + 0,25k^2 = 0, \qquad (32)$$

откуда

$$\left(\omega_{1,2}^{соб}\right) = \frac{3k}{2m} \pm \sqrt{\frac{9k^2 - 10k^2}{4m}}, \qquad (33)$$

что свидетельствует об условиях неустойчивости (при $i = 1, k_1 = k_2 = k_3 = k_4 = 0, M = 0$). Запишем из (26), что при $i = 1$, то есть при рычаге второго рода –

$$(mp^2 + 1,5k)(mp^2 + 2k - 0,5ki^2) + (k^2i)\cdot 0,25 = 0. \qquad (34)$$

Преобразуем (34) к виду

$$m^2p^4 + mp^2\cdot k(3,5 - 0,5i^2) + k^2(3 - 0,5i^2) = 0, \qquad (35)$$

откуда

$$\left(\omega_{1,2соб}^2\right)^2 = \frac{k(3,5-0,5i^2)}{2m} \pm \pm\sqrt{\frac{k^2(3,5-0,5i^2)-4k^2(3-0,5i^2)}{4m^2}} \quad (36)$$

или

$$\left(\omega_{1,2соб}^2\right)^2 = \frac{k(3,5-0,5i^2)}{2m} \pm \frac{k}{4m}\sqrt{(i^4-6i^2+1)}. \quad (37)$$

Если $i^4 - 6i^2 + 1 = 0$, то

$$(i_{1,2}^2)^2 = 3 \pm \sqrt{8}, \quad (38)$$

тогда найдем две частоты собственных колебаний

$$\omega_{1соб}^2 = \frac{k}{2m}\left(2-0,5\sqrt{8}\right);$$

$$\omega_{2соб}^2 = \frac{k}{2m}\left(2+0,5\sqrt{8}\right). \quad (39)$$

Таким образом, не при всех значениях $i \neq 0$ можно найти частоты собственных колебаний системы. Для определения диапазона приемлемых i построим график зависимости частот собственных колебаний от i (рис. 4).

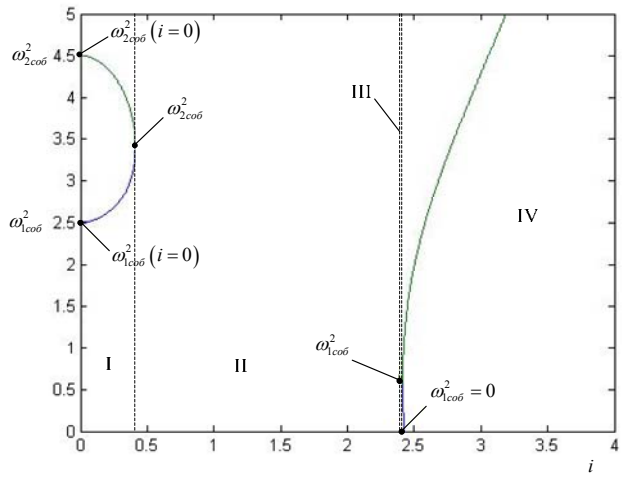


Рис. 4. Зависимости значений частот собственных колебаний от величины передаточного отношения рычага первого рода: I – зона нормальной работы; II – зона неустойчивости; III – зона приближения к режиму динамического гашения; IV – зона неустойчивости, когда наблюдается неустойчивые колебания одной из масс.

Границы значений частот определяются из выражения (36). При этом должно выполняться условие

$$i^4 - 6i^2 + 1 \geq 0. \quad (40)$$

Отметим, что данные о свойствах справедливы для условий $k_1 = k_2 = k_3 = k_4 = k$ и $M = 0$. Но важен сам факт возможности потери устойчивости при положительной связи, реализуемой рычагом 1-ого рода в расчетных схемах, соответствующих рис. 1, *а*. На рис.4 можно выделить ряд характерных точек: в зоне I реализуются режим, когда $i = 0$, что в физическом смысле означает равенство нулю одного из плеч рычага первого рода, в этом случае для колебательной системы необходимо ввести ограничение, что $i \to 0$, но не равняется нулю; граница зоны I определяется частотой, равной $\omega^2 = \frac{k}{2m}\left(2-0,5\sqrt{8}\right)$ - в данной точке мы наблюдаем первое главное колебание системы, и при дальнейшем увеличении i осуществляется переход в II – зону неустойчивой работы. При достижении значения частоты $\omega^2 = \frac{k}{2m}\left(2+0,5\sqrt{8}\right)$, наблюдается второе главное колебание и происходит переход в III-ю зону работы, которая завершается значением $i = \sqrt{7}$, что соответствует режиму динамического гашения. Дальнейшее увеличение i приводит к неустойчивой работе колебательной системы (неустойчивое колебание одной из масс.

Характерные точки на рис.4 можно определить, используя зависимость, приведенную на рис. 5.

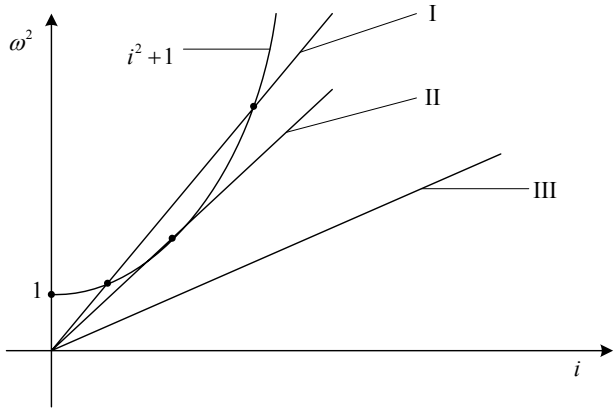


Рис. 5. Определение возможных соотношений между границами режимов

Если связь реализуется рычагом 2-ого рода и имеет отрицательный характер, то

$$m^2 p^4 + mp^2 k(3,5-0,5i^2) + k^2(3-0,5i^2) = 0 \text{ , (41)}$$

откуда

$$(\omega^2_{1,2соб})^2 = \frac{(3,5-0,5i^2)}{2m} \pm \sqrt{\frac{(35-0,5i^2)^2 - 4(3-i^2)}{4}} \quad (42)$$

или

$$\omega^2_{1,2соб} = \frac{(3,5-0,5i^2)k}{2m} \pm \frac{k}{4m}\sqrt{\left(i^4+0,5i^2+1\right)} \text{ . (43)}$$

Построим зависимости: $\omega^2_{1соб}$ и $\omega^2_{2соб}$ в функции i аналогично, как и для рычага первого рода.

На рис.6 имеются характерные точки, которые совпадают для рычагов первого рода: в зоне I реализуются режим, когда $i \to 0$, в зоне II при значении $i = \sqrt{7}$ наступает режим динамического гашения. В свою очередь, дальнейшее увеличение i приводит к неустойчивой работе колебательной системы.

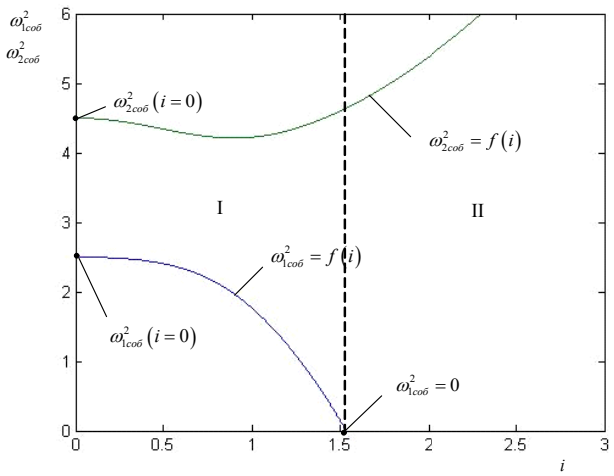


Рис. 6. Зависимости значений частот собственных колебаний от величины передаточного отношения рычага второго рода: I – зона устойчивой работы; II – зона неустойчивости

На основании вышеприведенных исследований можно сделать ряд выводов.

1. Рычажные механизмы первого и второго рода по-разному влияют на динамические свойства колебательной системы, поскольку реализуют различные виды обратных связей.

2. Передаточное отношение рычага имеет знак и величину, что предопределяет значения этих параметров для оценки зон устойчивой работы.

3. Рычажные связи первого рода вносят отрицательную связь, однако, область устойчивости работы требует отдельного рассмотрения.

4. При рычажных механизмах второго рода при определенных сочетаниях параметров возможны режимы неустойчивости, так как в систему вводятся положительные связи.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Казамаров А. А., Палатник А. М., Роднянский Л. О. Динамика двумерных систем автоматического регулирования. М. : Наука, 1967. 308 с.
2. Красовский А. А., Поспелов Г. С. Основы автоматики и технической кибернетики. М. : Госэнергоиздат, 1962. 568 с.
3. Александров А. Г. Синтез регуляторов многомерных систем. М. : Машиностроение, 1986. 272 с.
4. Яглом И. М. Математические структуры и математическое моделирование. М. : Сов. Радио, 1980. 144 с.
5. Елисеев С. В., Упырь Р. Ю. Особенности параллельных соединений в механических цепях // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. Иркутск. 2007. № 2 (14). С. 102–113.
6. Елисеев С. В., Упырь Р. Ю. Рычажные связи в передаче механических воздействий // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. Иркутск. 2007. № 2 (14). С. 38–46.
7. Елисеев С. В., Упырь Р. Ю. Рычажные механизмы в системах балочного типа // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. Иркутск. 2008. № 1 (17). С. 23–33.

Мижидон А.Д., Баргуев С.Г., Лебедева Н.В. УДК 517.98

К ИССЛЕДОВАНИЮ ВИБРОЗАЩИТНОЙ СИСТЕМЫ С УПРУГИМ ОСНОВАНИЕМ

При исследовании виброзащитных систем учет конечности массы основания и его упругих свойств вносит новые эффекты. В частности, появление дискретного спектра собственных частот, в связи, с чем система приобретает резонансные свойства в бесконечном диапазоне частот. Исследованию таких систем посвящены работы авторов [1-5].

В статье рассматривается виброзащитная система, состоящая из основания в виде упругого стержня, закрепленного на концах и прикрепленных на нем с помощью пружин двух масс. Для данной системы предложена математическая модель, на основании которой проведено обоснование нахождения собственных частот системы.

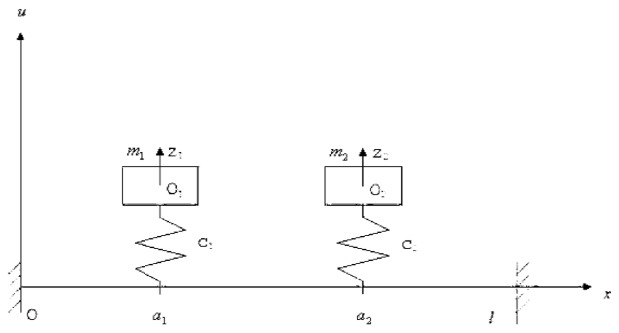


Рис 1. Механическая система «упругий стержень с двумя массами»

Рассмотрим механическую систему (рис. 1), состоящую из двух масс m_1, m_2, присоединенных к упругому стержню с помощью пружин жесткости c_1, c_2 соответственно. Концы стержня жестко закреплены. Массы m_1, m_2 могут перемещаться только поступательно в направлении осей O_1z_1 и O_2z_2. Здесь точки O_1 и O_2 совпадают с положениями равновесия масс. Колебания масс характеризуются функциями $z_1(t)$ и $z_2(t)$. Перемещения точек стержня описываются функцией $u(x,t)$. Пружины присоединены к стержню на расстояниях a_1 и a_2 от левого конца стержня соответственно.

Для вывода уравнений воспользуемся вариационным принципом Гамильтона, который справедлив, как для систем с сосредоточенными, так и для систем с распределенными параметрами. Согласно принципу Гамильтона вариация интеграла действия обращается в нуль

$$\int_{t_0}^{t_1} \delta(T-U)dt = 0\,, \qquad (1)$$

где T - кинетическая энергия системы, U - потенциальная энергия системы.

Потенциальную и кинетическую энергию системы определим следующим образом

$$U = U_1 + U_2 + U_c\,, \quad T = T_1 + T_2 + T_c\,.$$

Здесь

$$T_1 = \frac{m_1\dot{z}_1^2}{2},\ \ T_2 = \frac{m_2\dot{z}_2^2}{2},\ \ T_c = \frac{1}{2}\int_0^l pF(\frac{\partial u}{\partial t})^2 dx\,,$$

$$U_1 = \frac{c_1(z_1 - u(a_1,t))^2}{2},\ \ U_2 = \frac{c_2(z_2 - u(a_2,t))^2}{2},$$

$$U_c = \frac{1}{2}\int_0^l EJ(\frac{\partial^2 u}{\partial t^2})^2 dx,$$

где ρ – плотность стержня; F – площадь поперечного сечения стержня; EJ – жесткость стержня на изгиб.

Преобразуем левую часть в (1)

$$\int_{t_0}^{t_1}\delta\left(\begin{array}{l}\frac{m_1\dot{z}_1^2}{2}+\frac{m_2\dot{z}_2^2}{2}-\frac{c_1(z_1-u(a_1,t))^2}{2}-\frac{c_2(z_2-u(a_2,t))^2}{2}+\\ +\frac{1}{2}\int_0^l \rho F(\frac{\partial u}{\partial t})^2 dx-\frac{1}{2}\int_0^l EI(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2})^2 dx\end{array}\right)dt =$$

$$=\int_{t_0}^{t_1}\frac{\partial}{\partial\alpha}\left[\frac{m_1(\dot z_1+\alpha\delta\dot z_1)^2}{2}+\frac{m_2(\dot z_2+\alpha\delta\dot z_2)^2}{2}-\right.$$

$$-\frac{c_1(z_1+\alpha\delta z_1-u(a_1,t)-\alpha\delta u(a_1,t))^2}{2}-$$

$$-\frac{c_2(z_2+\alpha\delta z_2-u(a_2,t)-\alpha\delta u(a_2,t))^2}{2}+$$

$$\left.\frac{1}{2}\int_0^l\rho F(\frac{\partial u}{\partial t}+\alpha\delta\frac{\partial u}{\partial t})^2dx-\frac{1}{2}\int_0^l EI(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\alpha\delta\frac{\partial^2 u}{\partial x^2})^2dx\right]_{\alpha=0}dt=$$

$$=\int_{t_0}^{t_1}\left[m_1\dot z_1\delta\dot z_1+m_2\dot z_2\delta\dot z_2-c_1(z_1-u(a_1,t))\delta z_1\right.$$

$$+c_2(z_2-u(a_2,t))\delta z_2+c_1(z_1-u(a_1,t))\delta u(a_1,t)+$$

$$+c_2(z_2-u(a_2,t))\delta u(a_2,t)+\int_0^l\rho F\frac{\partial u}{\partial t}\delta\frac{\partial u}{\partial t}dx-$$

$$\left.-\int_0^l EI\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}\delta\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}dx\right]dt.$$

Интегралы, входящие в последнее выражение, интегрируя по частям, преобразуем следующим образом

$$\int_{t_0}^{t_1}\dot z_1\delta\dot z_1\,dt=\dot z_1\,\delta z_1\Big|_{t_0}^{t_1}-\int_{t_0}^{t_1}\ddot z_1\delta z_1\,dt=-\int_{t_0}^{t_1}\ddot z_1\delta z_1\,dt,$$

$$\int_{t_0}^{t_1}\dot z_2\delta\dot z_2\,dt=\dot z_2\,\delta z_2\Big|_{t_0}^{t_1}-\int_{t_0}^{t_1}\ddot z_2\delta z_2\,dt=-\int_{t_0}^{t_1}\ddot z_2\delta z_2\,dt,$$

$$\frac{\partial^3 u}{\partial x^3}\delta u\Big|_0^l+\int_0^l\frac{\partial^4 u}{\partial x^4}\delta u dx=\int_0^l\frac{\partial^4 u}{\partial x^4}\delta u dx,$$

$$\int_{t_0}^{t_1}c_1(z_1-u(a_1,t))\delta u(a_1,t)dt=$$

$$=\int_{t_0}^{t_1}\int_0^l c_1(z_1-u(x,t)\delta u(x,t)\delta(x-a_1)dxdt,$$

$$\int_{t_0}^{t_1}c_2(z_2-u(a_2,t))\delta u(a_2,t)dt=$$

$$\int_{t_0}^{t_1}\int_0^l c_2(z_2-u(x,t)\delta u(x,t)\delta(x-a_2)dxdt,$$

$$\int_{t_0}^{t_1}\int_0^l\frac{\partial u}{\partial t}\delta\frac{\partial u}{\partial t}dxdt=\int_0^1\int_{t_0}^{t_1}\frac{\partial u}{\partial t}\delta\frac{\partial u}{\partial t}dtdx=$$

$$\int_0^l[\frac{\partial u}{\partial t}\delta u\Big|_{t_0}^{t_1}-\int_{t_0}^{t_1}\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}\delta u dt]\,dx=-\int_0^l\int_{t_0}^{t_1}\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}\delta u dtdx,$$

$$\int_0^1\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}\delta\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}dx=\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}\partial\frac{\partial u}{\partial x}\Big|_0^l-\int_0^l\frac{\partial^3 u}{\partial x^3}\delta\frac{\partial u}{\partial x}dx=$$

$$=-\int_0^l\frac{\partial^3 u}{\partial x^3}\delta\frac{\partial u}{\partial x}dx=$$

$$=\frac{\partial^3 u}{\partial x^3}\delta u\Big|_0^l+\int_0^l\frac{\partial^4 u}{\partial x^4}\delta u dx=\int_0^l\frac{\partial^4 u}{\partial x^4}\delta u dx.$$

Здесь учтено, что на концах отрезков интегрирования вариации δz_1, δz_2, δu, $\delta\frac{\partial u}{\partial x}$ обращаются в нуль.

Таким образом (1), примет вид:

$$\int_{t_0}^{t_1}\left[\left(-m_1\ddot z_1-c_1(z_1-u(a_1,t))\right)\delta z_1+\right.$$

$$+\left(-m_1\ddot z_1-c_2(z_2-u(a_2,t))\right)\delta z_2+$$

$$+\int_0^\ell\left(c_1(z_1-u(x,t))\delta(x-a_1)+c_2(z_2-u(x,t))\delta(x-a_2)-\right.$$

$$\left.\left.-\rho F\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}-EI\frac{\partial^4 u}{\partial x^4}\right)\delta u dx\right]dt=0.$$

В силу произвольности и независимости вариаций в подынтегральных выражениях, получим систему гибридных дифференциальных уравнений, описывающую динамику системы

$$\begin{cases}m_1\ddot z_1+c_1(z_1-u(a_1,t))=0,\\ m_2\ddot z_2+c_2(z_2-u(a_2,t))=0,\\ \rho F\dfrac{\partial^2 u}{\partial t^2}+EI\dfrac{\partial^4 u}{\partial x^4}=\\ \quad=c_1(z_1-u(x,t))\delta(x-a_1)+\\ \quad+c_2(z_2-u(x,t))\delta(x-a_2),\end{cases}\qquad(2)$$

решение, которой будем понимать в обобщенном смысле [6].

Приведем систему (2) к виду

$$\begin{cases} \dfrac{d^2 z_1}{dt^2} + p_1^{\,2}(z_1 - u(a_1,t)) = 0, \\ \dfrac{d^2 z_2}{dt^2} + p_2^{\,2}(z_2 - u(a_2,t)) = 0, \\ \dfrac{\partial^2 u}{\partial t^2} + b\dfrac{\partial^4 u}{\partial t^4} = \sum\limits_{i=1}^{2} e_i(z_i - u(x,t))\delta(x-a_i), \end{cases} \qquad (3)$$

где

$$p_1 = \sqrt{\frac{c_1}{m_1}},\ p_2 = \sqrt{\frac{c_2}{m_2}},\ b = \frac{EJ}{pF},$$

$$e_1 = \frac{c_1}{pF},\ e_2 = \frac{c_2}{pF}.$$

На *u(x,t)* наложим граничные условия, соответствующие жесткой заделке

$$u(0,t) = u(l,t) = 0,$$
$$\frac{du}{dx}(0,t) = \frac{du}{dx}(l,t) = 0. \qquad (4)$$

Подставив в систему (3) $z_i(t)$, $u(x,t)$ в виде

$$z_i(t) = A_i \cos pt,\ \ u(x,t) = V(x)\cos pt,\ \ i = 1,2;$$

p - собственная частота, A_i - амплитуда колебаний масс, $V(x)$ - амплитуда колебаний точек упругого стержня. После преобразований получим

$$\begin{cases} -p^2 A_1 + p_1^{\,2}(A_1 - V(a_1)) = 0, \\ -p^2 A_2 + p_2^{\,2}(A_2 - V(a_2)) = 0, \end{cases} \qquad (5)$$

$$-p^2 V(x) + b\frac{d^4 V(x)}{dx^4} = \\ = \sum_{i=1}^{2} e_i(A_i - V(x))\delta(x-a_i). \qquad (6)$$

В силу граничных условий (4) $V(x)$ должна удовлетворять условиям

$$V(0) = V(l) = 0,$$
$$\frac{dV}{dx}(0) = \frac{dV}{dx}(l) = 0. \qquad (7)$$

ТЕОРЕМА 1. *При любых p, A_1 и A_2 функция*

$$V(x) = \overline{V}_1(x-a_1)e_1(A_1 - V(a_1)) + \\ + \overline{V}_2(x-a_2)e_2(A_2 - V(a_2)), \qquad (8)$$

является обобщенным решением уравнения (6), *где функции* $\overline{V}_1(x)$ и $\overline{V}_2(x)$ *являются некоторыми решениями уравнения*

$$-p^2\overline{V}(x) + b\frac{d^4\overline{V}(x)}{dx^4} = \delta(x). \qquad (9)$$

Доказательство. Пусть $V_1(x)$ и $V_2(x)$ – некоторые обобщенные решения уравнения (9). Отметим, что из (8) следует справедливость следующего представления

$$V(x) = \int_0^l \overline{V}_1(x-\xi)e_1(A_1 - V(\xi))\delta(\xi - a_1) + \\ + \overline{V}_2(x-\xi)e_2(A_2 - V(\xi))\delta(\xi - a_2))d\xi. \qquad (10)$$

Подставив $V(x)$ в виде (10) в уравнение (6), умножив на $\phi(x)$ из класса основных функций [6], далее проинтегрировав по *x* в пределах от 0 до *l*, поменяв при этом порядок интегрирования, в силу (9) приведем левую часть уравнения (6) к виду

$$\int_0^l \left[\int_0^l \left(\left\{ -p^2\overline{V}_1(x-\xi) + b\frac{d^4\overline{V}_1(x-\xi)}{dx^4} \right\} e_1(A_1 - V(\xi)\delta(\xi - a_1) + \right.\right.$$
$$\left.\left. + \left\{ -p^2\overline{V}_2(x-\xi) + \frac{d^4\overline{V}_2(x-\xi)}{dx^4} \right\} e_2(A_2 - V(\xi)\delta(\xi - a_2) \right) d\xi \right] \phi(x)dx =$$
$$= \int_0^l \left[e_1(A_1 - V(\xi))\delta(\xi - a_1) \int_0^l \left(-p^2\overline{V}_1(x-\xi) + b\frac{d^4\overline{V}_1(x-\xi)}{dx^4} \right) \phi(x)dx + \right.$$
$$\left. + e_2(A_2 - V(\xi))\delta(\xi - a_2) \cdot \left[\int_0^l \left(-p^2\overline{V}_2(x-\xi) + b\frac{d^4\overline{V}_2(x-\xi)}{dx^4} \right) \phi(x)dx \right] d\xi = \right.$$
$$= \int_0^l \left[e_1(A_1 - V(\xi))\delta(\xi - a_1) \int_0^l \phi(x)\delta(x-\xi)dx + \right.$$
$$\left. + e_2(A_2 - V(\xi))\delta(\xi - a_2) \int_0^l \phi(x)\delta(x-\xi)dx \right] d\xi =$$
$$= \int_0^l [(e_1(A_1 - V(\xi))\delta(\xi - a_1)\phi(\xi) + e_2(A_2 - V(\xi))\delta(\xi - a_2)\phi(\xi)])d\xi =$$
$$= e_1(A_1 - V(a_1))\phi(a_1) + e_2(A_2 - V(a_2))\phi(a_2).$$

При этом правая часть уравнения (6) преобразуется следующим образом

$$\int_0^l \left[\sum_{i=1}^{2} e_i(A_i - V(x))\delta(x-a_i)\phi(x) \right] dx =$$
$$= \sum_{i=1}^{2} \int_0^l e_i(A_i - V(x))\delta(x-a_i)\phi(x)dx =$$
$$= \sum_{i=1}^{2} e_i(A_i - V(a_i))\phi(a_i) =$$
$$= e_1(A_1 - V(a_1))\phi(a_1) + e_2(A_2 - V(a_2))\phi(a_2),$$

что совпадает с преобразованной левой частью.

Таким образом, выражение (8) для *V(x)* является решением уравнения (6) в обобщенном смысле.

В силу условий (7), накладываемых на $V(x)$, для определения функций $\overline{V}_1(x)$ и $\overline{V}_2(x)$ получим следующие краевые задачи

$$\begin{cases} -p^2\overline{V}_1(x)+b\dfrac{d^4\overline{V}_1(x)}{dx^4}=\delta(x), \\ \overline{V}_1(-a_1)=\overline{V}_1(l-a_1)=0, \\ \dfrac{d\overline{V}_1}{dx}(-a_1)=\dfrac{d\overline{V}_1}{dx}(l-a_1)=0, \end{cases} \tag{11}$$

$$\begin{cases} -p^2\overline{V}_2(x)+b\dfrac{d^4\overline{V}_2(x)}{dx^4}=\delta(x), \\ \overline{V}_2(-a_2)=\overline{V}_2(l-a_2)=0, \\ \dfrac{d\overline{V}_2}{dx}(-a_2)=\dfrac{d\overline{V}_2}{dx}(l-a_2)=0. \end{cases} \tag{12}$$

Для решения краевых задач (11) и (12) найдем общее решение уравнения (9) $\overline{V}(x)$ в виде суммы общего обобщенного решения $G_0(x)$ однородного уравнения

$$-p^2\overline{V}(x)+b\frac{d^4\overline{V}(x)}{dx^4}=0 \tag{13}$$

и некоторого обобщенного решения $G(x)$ неоднородного уравнения

$$-p^2\overline{V}(x)+b\frac{d^4\overline{V}(x)}{dx^4}=\delta(x), \tag{14}$$

то есть

$$\overline{V}(x)=G_0(x)+G(x). \tag{15}$$

Общее решение $G_0(x)$ однородного уравнения (13) можно записать в виде

$$G_0(x)=c_1S_1(\beta x)+c_2S_2(\beta x)+c_3S_3(\beta x)+ \\ +c_4S_4(\beta x),$$

где c_1,c_2,c_3,c_4 – произвольные постоянные; $S_1(\beta x)$, $S_2(\beta x)$, $S_3(\beta x)$, $S_4(\beta x)$ - функции Крылова, которые определяются следующим образом:

$$S_1(\beta x)=\frac{\mathrm{ch}(\beta x)+\cos(\beta x)}{2},\ S_2(\beta x)=\frac{\mathrm{sh}(\beta x)+\sin(\beta x)}{2},$$
$$S_3(\beta x)=\frac{\mathrm{ch}(\beta x)-\cos(\beta x)}{2},\ S_4(\beta x)=\frac{\mathrm{sh}(\beta x)-\sin(\beta x)}{2}.$$

Отметим, что выражение для обобщенного решения $G_0(x)$ совпадает с классическим.

Частное обобщенное решение $G(x)$ неоднородного уравнения (14) можно определить в виде [5]

$$G(x)=\theta(x)\frac{S_4(\beta x)}{b\beta^3}, \tag{16}$$

где $\theta(x)$ - функция Хэвисайда; $\beta=\dfrac{\sqrt{p}}{b^{\frac{1}{4}}}$.

Для нахождения функций $\overline{V}_1(x)$ и $\overline{V}_2(x)$, согласно представлению (15), определим произвольные константы c_1, c_2, c_3, c_4 из условий выполнения соответствующих граничных условий.

Далее из (8), принимая последовательно $x=a_1$ и $x=a_2$, получим систему линейных алгебраических уравнений относительно $V(a_1))$ и $V(a_2)$

$$\begin{aligned} &(1+\overline{V}_1(0)e_1V(a_1)+\overline{V}_2(a_1-a_2)e_2V(a_2)=\sum_{i=1}^{2}\overline{V}_i(a_1-a_i)e_iA_i, \\ &\overline{V}_1(a_2-a_1)e_1V(a_1)+(1+\overline{V}_2(0)e_2V(a_2)=\sum_{i=1}^{2}\overline{V}_i(a_2-a_i)e_iA_i. \end{aligned} \tag{17}$$

Решение системы (17), получим в виде

$$\begin{aligned} V(a_1)&=\beta_{11}A_1+\beta_{12}A_2, \\ V(a_2)&=\beta_{21}A_1+\beta_{22}A_2. \end{aligned} \tag{18}$$

Здесь

$$\beta_{11}=\frac{1}{\Delta}\begin{vmatrix} \overline{V}_1(0)e_1 & \overline{V}_2(a_1-a_2)e_2 \\ \overline{V}_1(a_2-a_1)e_1 & 1+\overline{V}_2(0)e_2 \end{vmatrix},$$
$$\beta_{12}=\frac{1}{\Delta}\begin{vmatrix} \overline{V}_2(a_1-a_2)e_2 & \overline{V}_2(a_1-a_2)e_2 \\ \overline{V}_2(0)e_2 & 1+\overline{V}_2(0)e_2 \end{vmatrix},$$
$$\beta_{21}=\frac{1}{\Delta}\begin{vmatrix} 1+\overline{V}_2(0)e_2 & \overline{V}_1(0)e_1 \\ \overline{V}_1(a_2-a_1)e_1 & \overline{V}_1(a_2-a_1)e_1 \end{vmatrix},$$
$$\beta_{22}=\frac{1}{\Delta}\begin{vmatrix} 1+\overline{V}_1(0)e_1 & \overline{V}_2(a_1-a_2)e_2 \\ \overline{V}_1(a_2-a_1)e_1 & \overline{V}_2(0)e_2 \end{vmatrix}, \tag{19}$$

где

$$\Delta=\begin{vmatrix} 1+\overline{V}_1(0)e_1 & \overline{V}_2(a_1-a_2)e_2 \\ \overline{V}_1(a_2-a_1)e_1 & 1+\overline{V}_2(0)e_2 \end{vmatrix}.$$

Подставив (18) в систему (5), получим систему линейных, однородных алгебраических уравнений относительно амплитуд

$$\begin{aligned} &(p_1^2-p^2-p_1^2\beta_{11})A_1-p_1^2\beta_{12}A_2=0, \\ &-p_2^2\beta_{21}A_1+(p_2^2-p^2-p_2^2\beta_{22})A_2=0. \end{aligned} \tag{20}$$

Система (20) имеет ненулевые решения, если ее определитель равен нулю. Вычислив определитель системы (20), и приравняв его к нулю, получим уравнение для собственных частот

$$(p_1^2 - p^2 - p_1^2\beta_{11})(p_2^2 - p^2 - p_2^2\beta_{22}) - \\ - p_1^2 p_2^2 \beta_{12}\beta_{21} = 0. \quad (21)$$

Следует отметить, что здесь коэффициенты $\beta_{11}, \beta_{12}, \beta_{21}, \beta_{22}$ вычисляются по формулам (19) и зависят от собственной частоты p. В связи с этим уравнение для собственных частот (21) является трансцендентным, содержащим периодические тригонометрические функции, а также монотонные гиперболические функции, в силу чего появляется бесконечный дискретный набор собственных частот.

Для подтверждения достоверности полученного результата проведем сравнительный анализ предложенного подхода нахождения собственных частот с методом начальных параметров [7], для случая с бесконечно малой массой стержня. В этом случае система имеет конечное число собственных частот.

Рассмотрим виброзащитную систему, расчетная схема которой приведена на рис. 2.

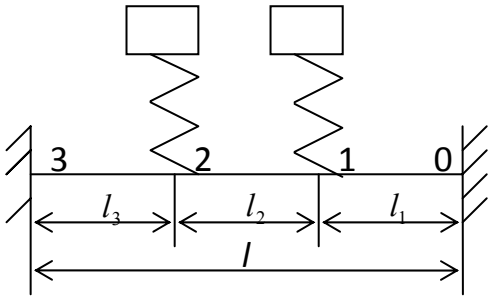


Рис. 2. Расчетная схема системы с упругим основанием и малой массой

Для простоты положим, что все три участка, на которые разбивается стержень, имеют одинаковую длину a, массы тел и жесткости пружин одинаковы и равны соответственно m, c, то есть

$$l_1 = l_2 = l_3 = \frac{l}{3} = a, \quad m_1 = m_2 = m,$$

$$c_1 = c_2 = c.$$

Согласно [7] при массе стержня, стремящейся к нулю (11), сводится к краевой задаче

$$\begin{cases} b_1 \dfrac{d^4 \overline{V}_1(x)}{dx^4} = \delta(x), \\ \overline{V}_1(-a) = \overline{V}_1(2a) = 0, \\ \dfrac{d\overline{V}_1}{dx}(-a) = \dfrac{d\overline{V}_1}{dx}(2a) = 0. \end{cases} \quad (22)$$

Общее решение уравнения из (22) имеет вид

$$\overline{V}_1(x) = c_0 + c_1 x + c_2 x^2 + c_3 x^3 + \theta(x)\frac{x^3}{6b_1},$$

где $b_1 = \dfrac{EJ}{c}$.

Отсюда ее производная определяется выражением

$$\frac{d\overline{V}_1}{dx} = c_1 + 2c_2 x + 3c_3 x^2 + \theta(x)\frac{x^2}{2b_1}.$$

Действительно, согласно теории обобщенных функций [6], производная обобщенной функции $\overline{V}_1(x)$ определяется по формуле

$$\left(\frac{d\overline{V}_1}{dx}(x), \phi(x)\right) = -\left(\overline{V}_1(x), \frac{d\phi}{dx}(x)\right),$$

где $\phi(x)$ функция из класса основных функций. В соответствии с этим можно показать

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{dV_1(x)}{dx} \cdot \phi(x)dx = \\ = \int_{-\infty}^{+\infty} \left(c_1 + 2c_2 x + 3c_3 x^2 + \theta(x)\frac{x^2}{2b_1}\right) \cdot \phi(x)dx.$$

Используя граничные условия (22), получим систему линейных алгебраических уравнений относительно неизвестных c_0, c_1, c_2, c_3:

$$\begin{cases} c_0 - c_1 a + c_2 a^2 - c_3 a^3 = 0, \\ c_0 + 2c_1 a + 4c_2 a^2 + 8c_3 a^3 = -\dfrac{4a^3}{3b_1}, \\ c_1 - 2c_2 a + 3c_3 a^2 = 0, \\ c_1 + 4c_2 a + 12c_3 a^2 = -\dfrac{2a^2}{b_1}. \end{cases}$$

Решая систему, найдем

$c_0 = \frac{8a^3}{81b_1}$, $c_1 = \frac{2a^2}{27b_1}$, $c_2 = -\frac{4a}{27b_1}$, $c_3 = -\frac{10}{81b_1}$.

Таким образом,

$$\bar{V}_1(x) = \frac{8a^3}{81b_1} + \frac{2a^2}{27b_1}x - \frac{4a}{27b_1}x^2 - \\ -\frac{10}{81b_1}x^3 + \Theta(x)\frac{x^3}{6b_1}.$$

Следовательно,

$$\bar{V}_1(0) = \frac{8a^3}{81b_1}, \quad \bar{V}_1(a) = \frac{11a^3}{162b_1}.$$

Аналогично, выше изложенному, из (12), получив краевую задачу

$$\begin{cases} b_1 \dfrac{d^4\bar{V}_2(x)}{dx^4} = \delta(x), \\ \bar{V}_2(-2a) = \bar{V}_2(a) = 0, \\ \dfrac{d\bar{V}_2}{dx}(-2a) = \dfrac{d\bar{V}_2}{dx}(a) = 0, \end{cases} \tag{23}$$

найдем

$$\bar{V}_2(0) = \frac{8a^3}{81b_1}, \quad \bar{V}_2(-a) = \frac{11a^3}{162b_1}.$$

Подставив полученные выражения для $\bar{V}_1(0)$, $\bar{V}_1(a)$, $\bar{V}_2(0)$, $\bar{V}_2(-a)$ в (19), учитывая, что $a_1 = a$, $a_2 = 2a$, $e_1 = e_2 = e = 1$, $p_1 = p_2 = p_0 = \sqrt{\frac{c}{m}}$, $b_1 = \frac{EJ}{c}$, получим

$$\beta_{11} = \beta_{22} = \frac{1}{\Delta} \cdot \frac{a^3 e\left(96b_1 + 5a^3 e\right)}{972b_1^2},$$

$$\beta_{12} = \beta_{21} = \frac{1}{\Delta} \cdot \frac{11a^3 e}{162b_1}, \tag{23'}$$

где

$$\Delta = \frac{972b_1^2 + 192b_1 ea^3 + 5a^6 e^2}{972b_1^2}.$$

Подставив полученные выражения (23') в уравнение собственных частот (20), получим

$$\left(p_0{}^2 - p^2 - p_0^2\beta_{11}\right)^2 = p_0^4\beta_{12}^2.$$

Решая данное уравнение относительно частоты p, имеем:

$$p = p_0\sqrt{1 - \beta_{11} \pm \beta_{12}}.$$

Из последнего выражения, учитывая найденные значения для β_{11} и β_{12}, найдем собственные частоты

$$p^{(1)} = p_0\sqrt{\frac{6b_1}{6b_1 + ea^3}} = \sqrt{\frac{162EJc}{m\left(162EJ + cl^3\right)}}, \\ p^{(2)} = p_0\sqrt{\frac{162b_1}{162b_1 + 5ea^3}} = \sqrt{\frac{874{,}8EJc}{m\left(874{,}8EJ + cl^3\right)}}. \tag{24}$$

Решим рассматриваемую задачу методом начальных параметров.

Переходные матрицы участков стержня без закрепленных на них точечных масс имеют вид

$$\hat{A}_i = \begin{pmatrix} A_i & \beta_i B_i & \dfrac{\beta_i^2 C_i}{\alpha_i} & \dfrac{\beta_i^3 D_i}{\alpha_i} \\ \dfrac{\lambda_i^4 D_i}{\beta_i} & A_i & \dfrac{\beta_i B_i}{\alpha_i} & \dfrac{\beta_i^2 C_i}{\alpha_i} \\ \dfrac{\alpha_i\lambda_i^4 C_i}{\beta_i^2} & \dfrac{\alpha_i\lambda_i^4 D_i}{\beta_i} & A_i & \beta_i B_i \\ \dfrac{\alpha_i\lambda_i^4 B_i}{\beta_i^3} & \dfrac{\alpha_i\lambda_i^4 C_i}{\beta_i^2} & \dfrac{\lambda_i^4 D_i}{\beta_i} & A_i \end{pmatrix},$$

где $\alpha_i = \frac{EJ_i}{EJ}$, $\beta_i = \frac{\ell_i}{\ell}$, $\frac{\lambda_i^4}{l_i^4} = \frac{m_i p^2}{EJ}$, ℓ – пролет стержня, ℓ_i – длина i-го участка стержня, заключенного между i-1-м и i-м сечениями, EJ_i – изгибная жесткость i-го участка, m_i – масса единицы длины i-го участка. За величину EJ принимается жесткость некоторого участка стержня. Индекс i обозначает номер соответствующего участка, причем счет индексов ведется справа налево. В переходную матрицу участка $\hat{A}_i$ входят функции

$$A_i = \frac{\mathrm{ch}(\lambda_i) + \cos(\lambda_i)}{2}, \quad B_i = \frac{\mathrm{sh}(\lambda_i) + \sin(\lambda_i)}{2\lambda_i},$$

$$C_i = \frac{\mathrm{ch}(\lambda_i) - \cos(\lambda_i)}{2\lambda_i^2}, \quad D_i = \frac{\mathrm{sh}(\lambda_i) - \sin(\lambda_i)}{2\lambda_i^3},$$

связанные с функциями Крылова соотношениями:

$$A_i = S_1(\lambda_i), \quad B_i = \frac{S_2(\lambda_i)}{\lambda_i},$$

$$C_i = \frac{S_3(\lambda_i)}{\lambda_i^2}, \; D_i = \frac{S_4(\lambda_i)}{\lambda_i^3}.$$

Переходные матрицы участков стержня с закрепленными слева точечными массами имеют вид:

$$\hat{J}_i = \begin{pmatrix} A_i & \beta_i B_i & \frac{\beta_i^2 C_i}{\alpha_i} & \frac{\beta_i^3 D_i}{\alpha_i} \\ \frac{\lambda_i^4 D_i}{\beta_i} & A_i & \frac{\beta_i B_i}{\alpha_i} & \frac{\beta_i^2 C_i}{\alpha_i} \\ \frac{\alpha_i \lambda_i^4 C_i}{\beta_i^2} & \frac{\alpha_i \lambda_i^4 D_i}{\beta_i} & A_i & \beta_i B_i \\ \frac{\alpha_i \lambda_i^4 B_i}{\beta_i^3} + \chi_i A_i & \frac{\alpha_i \lambda_i^4 C_i}{\beta_i^2} + \chi_i \beta_i B_i & \frac{\lambda_i^4 D_i}{\beta_i} + \chi_i \frac{\beta_i^2 C_i}{\alpha_i} & A_i + \chi_i \frac{\beta_i^3 D_i}{\alpha_i} \end{pmatrix},$$

где

$$\chi_i = \frac{c_i M_i p^2 \ell^3}{c_i - M_i p^2}.$$

В рассматриваемом случае имеем

$$A_i = A, \; B_i = B, \; C_i = C, \; D_i = D,$$

$$\beta_i = \frac{l_i}{l} = \frac{1}{3}, \; \alpha_i = \frac{EJ_i}{EJ} = 1, \; \lambda_i = \lambda.$$

Переходные матрицы первого и второго участков вместе с точками, где крепятся пружины с телами одинаковы и имеют вид

$$\hat{J}_2 = \hat{J}_1 = \begin{pmatrix} A & \frac{B}{3} & \frac{C}{9} & \frac{D}{27} \\ 3\lambda^4 D & A & \frac{B}{3} & \frac{C}{9} \\ 9\lambda^4 C & 3\lambda^4 D & A & \frac{B}{3} \\ 27\lambda^4 B + \chi A & 9\lambda^4 C + \chi \frac{B}{3} & 3\lambda^4 D + \chi \frac{C}{9} & A + \chi \frac{D}{27} \end{pmatrix}.$$

Переходная матрица третьего участка без точек крепления пружин имеет вид

$$\hat{A}_3 = \begin{pmatrix} A & \frac{B}{3} & \frac{C}{9} & \frac{D}{27} \\ 3\lambda^4 D & A & \frac{B}{3} & \frac{C}{9} \\ 9\lambda^4 C & 3\lambda^4 D & A & \frac{B}{3} \\ 27\lambda^4 & 9\lambda^4 C & 3\lambda^4 D & A \end{pmatrix}.$$

Вектор-столбец $\hat{U}$ амплитудных параметров левого конца стержня связан вектор - столбцом амплитудных параметров $\hat{U}_0$ правого конца соотношением

$$\hat{U} = \hat{A}_3 \hat{J}_2 \hat{J}_1 \hat{U}_0. \qquad (25)$$

Если масса стержня-основания стремится к нулю, то имеем:

$$\lim_{m_0 \to 0} \lambda = \lim_{m_0 \to 0} l \left(\frac{m_0 p^2}{EJ} \right)^{\frac{1}{4}} = 0,$$

следовательно –

$$A = 1, \; B = 1, \; C = \frac{1}{2}, \; D = \frac{1}{6}.$$

При этом переходные матрицы участков принимают вид

$$\hat{J}_1 = \hat{J}_2 = \begin{pmatrix} 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{18} & \frac{1}{162} \\ 0 & 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{18} \\ 0 & 0 & 1 & \frac{1}{3} \\ \chi & \frac{\chi}{3} & \frac{\chi}{18} & 1 + \frac{\chi}{162} \end{pmatrix},$$

$$A = \begin{pmatrix} 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{18} & \frac{1}{162} \\ 0 & 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{18} \\ 0 & 0 & 1 & \frac{1}{3} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

В этом случае переходная матрица системы принимает вид

$$\widehat{A} = \widehat{A}_3 \widehat{J}_2 \widehat{J}_1 =$$

$$= \begin{pmatrix} 1+\frac{\chi}{18}+\frac{\chi^2}{26244} & 1+\frac{5\chi}{243}+\frac{\chi^2}{78732} & \frac{1}{2}+\frac{\chi}{243}+\frac{\chi^2}{472392} & \frac{1}{6}+\frac{4\chi}{6561}+\frac{\chi^2}{4251528} \\ \frac{5\chi}{18}+\frac{\chi^2}{2916} & 1+\frac{\chi}{9}+\frac{\chi^2}{8748} & 1+\frac{2\chi}{81}+\frac{\chi^2}{52488} & \frac{1}{2}+\frac{\chi}{243}+\frac{\chi^2}{472392} \\ \chi+\frac{\chi^2}{486} & \frac{4\chi}{9}+\frac{\chi^2}{1458} & 1+\frac{\chi}{9}+\frac{\chi^2}{8748} & 1+\frac{5\chi}{243}+\frac{\chi^2}{78732} \\ 2\chi+\frac{\chi^2}{162} & \chi+\frac{\chi^2}{486} & \frac{5\chi}{18}+\frac{\chi^2}{2916} & 1+\frac{\chi}{18}+\frac{\chi^2}{26244} \end{pmatrix}.$$

Так как на концах стержня вектор-столбцы амплитудных параметров в (25) содержат первые два нулевых элемента в соответствии с граничными условиями, то из условия одновременного неравенства нулю остальных двух элементов, определитель переходной матрицы $\widehat{A}$ системы с элементами, лежащими на пересечении первых двух строк и последних двух столбцов, должен быть равным нулю, то есть

$$\begin{vmatrix} \frac{1}{2}+\frac{\chi}{243}+\frac{\chi^2}{472392} & \frac{1}{6}+\frac{4\chi}{6561}+\frac{\chi^2}{4251528} \\ 1+\frac{2\chi}{81}+\frac{\chi^2}{52488} & \frac{1}{2}+\frac{\chi}{243}+\frac{\chi^2}{472392} \end{vmatrix} = 0.$$

Вычислив определитель, получим квадратное уравнение

$$\frac{5}{8503056}\chi^2 - \frac{4}{6561}\chi + \frac{1}{12} = 0,$$

корни, которого равны

$$\chi_1 = 162, \quad \chi_2 = 874{,}8.$$

Собственные частоты p найдем из соотношения

$$\chi = \frac{cmp^2 l^3}{c - mp^2},$$

в виде

$$p^{(1,2)} = \sqrt{\frac{\chi_{1,2} EJc}{m\left(\chi_{1,2} EJ + cl^3\right)}}.$$

Таким образом

$$p^{(1)} = \sqrt{\frac{162EJc}{m\left(162EJ + cl^3\right)}},$$

$$p^{(2)} = \sqrt{\frac{874{,}8EJc}{m\left(874{,}8EJ + cl^3\right)}},$$

что совпадает с (24).

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Мижидон А. Д. Исследование систем виброизоляции на упругом основании // Проблемы виброизоляции машин и приборов : тез. докл. Второй всесоюз. конф. : Иркутск ; М., 1989. С. 113–114.
2. Мижидон А. Д., Баргуев С. Г. К исследованию свободных колебаний одной механической системы, описываемой гибридной системой дифференциальных уравнений // Проблемы механики современных машин : материалы второй междунар. конф. Улан-Удэ, 2003. Т. 2. С. 263–269.
3. Мижидон А. Д., Баргуев С. Г. О вынужденных колебаниях механической системы установленной на упругом стержне // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. Иркутск. 2004. № 1. С.32–34.
4. Мижидон А. Д., Баргуев С. Г., Кондратьев А. К. О стабилизации массы на упругом стержне // Аналитическая механика, устойчивость и управление движением : Тр. IX Междунар. Четаевской конф., посвящ. 105-летию Н. Г. Четаева. Иркутск, 2007. Т. 4. С. 181–189.
5. Баргуев С. Г., Мижидон А. Д. Способы расчета собственных колебаний одной механической системы и их сравнительный анализ // Вестн. Бурят. гос. ун-та. Сер. 13 : Математика и информатика. Улан-Удэ, 2005. Вып. 2. С. 192–200.
6. Владимиров В. С. Обобщенные функции в математической физике. М. : Наука, 1976. 301 с.
7. Ивович В. А. Переходные матрицы в динамике упругих систем. М. : Машиностроение,1969. 272 с.

Ефремов И.М., Фигура К.Н.

УДК 625.84:85.068.08

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РАСЧЕТЕ РОТОРНО-ВИБРАЦИОННОГО СМЕСИТЕЛЯ

В настоящий момент к задачам, стоящим наиболее остро в строительной индустрии Российской Федерации относятся: разработка, освоение и ускоренный выпуск наиболее прогрессивных машин с более высокой производительностью. В частности, ключевой является проблема ускоренного создания и освоения серийного выпуска комплектных технологических линий и оборудования для изготовления прогрессивных строительных материалов, изделий и сборных конструкций.

В связи с поставленными задачами является актуальным решение вопросов по созданию смесителей, обеспечивающих высокопроизводительное и качественное приготовление различных смесей, используемых в области дорожного и промышленно-гражданского строительства.

Длительность и качество смешивания теснейшим образом связаны с параметрами смешивающих органов и режимами их работы, характером распределения компонентов по объему замеса после загрузки их в смеситель и интенсивностью воздействия рабочего органа на смесь. Таким образом, для усовершенствования конструкции смесителя, необходимо решить несколько задач:

– определить критериальную зависимость эффективной вязкости (касательного напряжения сдвига) от параметров вибрации и геометрических размеров смесителя;

– определить зависимость мощности привода вибратора для плоскопараллельной и прецессионной установок.

Одним из наиболее перспективных способов смешивания строительных смесей является способ смешивания при наложении вибрационного поля, поэтому авторами предлагается следующая конструкция экспериментальной установки, изображенная на рис. 1. На рисунке 1 приняты следующие обозначения: 1-роторно-вибрационный смеситель, 2-реометр для измерения касательного напряже-

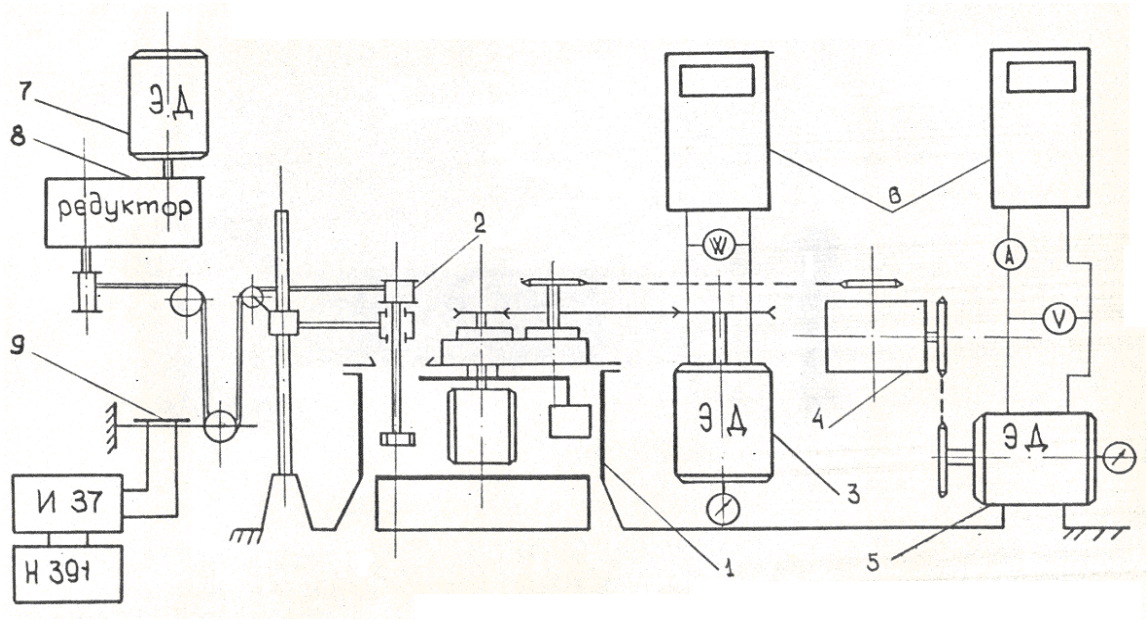


Рис.1. Схема экспериментальной установки

ния сдвига, 3-электродвигатель постоянного тока для осуществления привода вибратора, 4-цилиндрический и червячный редукторы, 5-электродвигатель постоянного тока для привода лопастного вала, 6-тиристорный электропривод, 7-электродвигатель привода реометра, 8-цилиндрический редуктор, 9-тензодатчик.

Для решения поставленных выше задач целесообразно использовать метод физического моделирования. Метод физического моделирования является весьма эффективным орудием экспериментального исследования физических процессов. Этот метод позволяет на уменьшенной или увеличенной модели промышленного аппарата проводить качественное и количественное изучение процесса, протекающего в образце, который часто бывает малодоступен. При моделировании физические переменные и модели и сама рабочая среда могут отличаться от соответствующих переменных и среды в «образце».

Метод моделирования базируется на теории подобия. Изложению основ теории подобия в различных областях науки посвящены работы М.В. Кирпичева, А.А. Гухмана, Л.М. Седова и др. [1,2,3] Фундаментальные исследования этого направления в области строительных и дорожных машин опубликованы в работах В.М. Баловнева [4,5].

В то время, как теория подобия изучает свойства заведомо подобных систем, учение о моделировании призвано решить прикладную задачу, а именно: установить каким требованиям должна удовлетворять модель, чтобы процессы, происходящие в ней, были подобны процессам, протекающим в образце. Можно дать также следующее определение метода моделирования: метод моделирования дает способ обобщения результатов единичного опыта.

Пределы закономерного распространения результатов единичного опыта указываются в теореме теории подобия: подобными явлениями будут те, которые имеют подобные условия однозначности и одинаковые определяющие критерии. Определяющие критерии составляются из независимых между собой величин, которые входят в условие однозначности (геометрические соотношения, физические параметры, краевые условия: начальные и граничные).

Теория подобия исходит из тех же предпосылок, что и аналитический расчет: должны быть заданы начальные (граничные) условия, параметры и координаты исследуемого процесса. Таким образом, теория подобия служит связующим звеном между теорией и экспериментом. Эксперимент, выполненный на ее основе, освобождает от необходимости аналитического решения задачи, не всегда являющегося доступным.

Другим важным и решающим преимуществом теории подобия является то, что постановка и задача эксперимента упрощается. В этом случае находится функциональная связь между целыми комплексами величин, определяющих явление, поэтому отпадает необходимость изучать влияние на процесс каждого фактора в отдельности, что позволяет в значительной степени сократить количество опытов.

Вместе с тем, теория подобия, вскрывая ряд связей и взаимоотношений, указывая рациональную форму обработки опытных данных, не может дать больше того, что содержится в уравнениях, описывающих явление, и она не является универсальной теорией. Общего решения она не дает, а лишь позволяет обобщать опытные данные в области, ограниченной условиями подобия.

При физическом моделировании происходит изменение масштаба, но сохраняется природа явления. Качественные и количественные связи подобных явлений устанавливаются в виде критериальных соотношений.

Для обеспечения смесительным агрегатом условий смешивания, необходимо чтобы частицы структурированной вязко-пластичной среды, как в натуре, так и в модели, двигались по геометрически подобным путям, а физические и механические величины в обоих смесителях находились в одинаковых отношениях между собой, определяемых константами подобия. В случае вибросмешивания это выполняется обеспечением вибрационных режимов и масштабных соотношений между определяющими геометрическими размерами опытной модели и промышленного агрегата.

Для решения задачи о выборе геометрических и кинематических параметров конструкции смесителя, необходимо исследовать процесс разрушения структуры материала, загружаемого в смеситель, при наложении поля вибрации. Подобным исследованиям в этой области посвящены работы А.Е. Десова, Г.Я. Кунноса, Б.Г. Гольдштейна и др [6,7,8,9]. Согласно представлениям по этому вопросу, при вибрационном воздействии структурированные системы приобретают свойства текучести. Установлено, что при вибрировании цементно-бетонных смесей между градиентом скорости сдвига и напряжением есть линейная зависимость, т.е. эти смеси при вибрировании становятся подобными ньютоновским жидкостям. С повышением частоты и амплитуды вязкость бетона понижается. Чем больше для одной и той же

смеси амплитуда и частота колебаний, тем больше разрушение структуры. Для разных смесей одна и та же частота тем больше понижает вязкость, чем более структурирована система и выше её наибольшая статическая вязкость. Установлено также, что с возрастанием водно-цементного отношения изотропное разрушение структуры при воздействии вибрации уменьшается.

На основе вышеизложенных положений для установления геометрических соотношений между вибратором и корпусом смесителя, оптимальных параметров вибрации, при которых обеспечивается однородное разрушение структуры смеси во всем объеме, использовалась теория моделирования.

Определение основных физических и геометрических параметров на основе проведенного анализа позволяет написать функциональную зависимость:

$$\mu = f\left(A, \omega, \frac{F}{V}, g, \rho, \frac{R_X}{R}; \frac{h_y}{h}, \frac{B}{Ц}\right), \qquad (1)$$

где A-амплитуда вибратора, ω-частота вибратора, $\frac{F}{V}$- отношение площади контакта вибратора со смесью к объему загрузки, g- ускорение свободного падения, ρ- плотность смеси, $\frac{R_X}{R}$, $\frac{h_y}{h}$- координаты точки замера вязкости, μ- эффективная вязкость смеси, $\frac{B}{Ц}$- водно-цементное отношение.

Преобразуем зависимость (1) к критериальному виду. Для этого выберем в качестве независимых параметров плотность ρ, частоту ω и амплитуду A колебаний, которые имеют независимые размерности. Выразим через них размерности оставшихся параметров:

-ускорения свободного падения

$$[g] = [A] \cdot [\omega]^2,$$

-эффективной вязкости

$$[\mu] = [\rho] \cdot [A]^2 \cdot [\omega], \qquad (2)$$

-геометрического комплекса

$$\left[\frac{F}{V}\right] = [A]^{-1}.$$

Из уравнений размерностей (2) получаем следующие безразмерные комплексы:

- $\frac{g}{A \cdot \omega^2}$- модифицированный критерий Фруда (определяющий критерий);
- $\frac{\mu}{\rho \cdot A^2 \cdot \omega}$- модифицированный критерий Рейнольдса (определяемый критерий);
- $\frac{F \cdot A}{V}$- критерий, определяющий передаточную способность вибрационного воздействия на смесь поверхностью рабочего органа (определяющий критерий).

Таким образом, получим:

$$\frac{\mu}{\rho \cdot A^2 \cdot \omega} = C_0 \cdot \left(\frac{g}{A \cdot \omega^2}\right)^{n_1} \cdot \left(\frac{F \cdot A}{V}\right)^{n_2} \cdot \left(\frac{R_X}{R}\right)^{n_3} \cdot \left(\frac{h_y}{h}\right)^{n_4}, \qquad (3)$$

где C_0- коэффициент, учитывающий исходные структурно-реологические свойства смеси. Учитывая геометрическую форму роторно-вибрационного смесителя, критерий, определяющий передаточную способность вибрационного воздействия на смесь поверхностью рабочего органа, можно преобразовать к виду:

$$\frac{F \cdot A}{V} = \frac{2 \cdot \pi \cdot r_B \cdot h \cdot A}{\pi \cdot \left(R^2 - r_B\right) \cdot h} = \frac{2 \cdot r_B \cdot A}{R^2 \cdot \left(1 - \frac{r_B^2}{R^2}\right)} \cong \frac{2 \cdot r_B \cdot A}{R^2}.$$

Так как при соотношении $\frac{R}{r_B} > 10$, величина $\frac{r_B}{R^2}$ является малой по сравнению с единицей. В полученном безразмерном комплексе коэффициент «2» можно в дальнейшем не учитывать.

Введем в рассмотрение критериальную зависимость:

$$\frac{\mu}{\rho \cdot A^2 \cdot \omega} = C_0 \cdot \left(\frac{g}{A \cdot \omega^2}\right)^{n_1} \cdot \left(\frac{r_B \cdot A}{R^2}\right)^{n_2} \cdot \left(\frac{R_X}{R}\right)^{n_3} \cdot \left(\frac{h_y}{h}\right)^{n_4}, \qquad (4)$$

устанавливающую связь между эффективной вязкостью, геометрическими и кинематическими параметрами смесителя.

Необходимо отметить, что большинство строительных смесей в процессе воздействия вибрации, по мере увеличения амплитуды и частоты колебаний, претерпевают значительные изменения.

Без вибрации и при амплитудных значениях ускорений колебаний до 20-30 м/с^2 они подчиняются уравнению Бингама-Швецова:

$$\tau = \tau_0 + \mu \cdot \frac{d\upsilon}{dn},$$

где τ_0- предельное напряжение сдвига.

При амплитудах ускорений колебаний более 30 м/с^2 процесс можно условно описывать уравнением Ньютона:

$$\tau = \mu \cdot \frac{d\upsilon}{dn}.$$

В условиях проведения реологического эксперимента с постоянной скоростью измерение предельного напряжения сдвига представляет определенные трудности. Кроме того, установление точной границы перехода из одного состояния в другое невозможно. Это в целом затрудняет расчет вязкости. Поэтому целесообразно зависимость (4) преобразовать к виду:

$$\frac{\tau}{\rho \cdot A} = C_* \cdot \left(\frac{g}{A \cdot \omega^2}\right)^{n_1} \cdot \left(\frac{r_B \cdot A}{R^2}\right)^{n_2} \cdot \left(\frac{R_X}{R}\right)^{n_3} \cdot \left(\frac{h_y}{h}\right)^{n_4}, \quad (5)$$

где τ - напряжение сдвига, рассчитывается по величине момента M на роторе реометра, по формуле:

$$\tau = \frac{M}{2 \cdot \pi \cdot r_P \cdot h_P},$$

где r_P и h_P - соответственно радиус и высота ротора реометра.

Для достоверного и обоснованного перехода от модели к натуре, необходимо на основании теоремы подобия, чтобы соблюдалось равенство определяющих критериев при наличии подобия условий однозначности.

Таким образом:

$$\frac{g}{A_1 \cdot \omega_1^2} = \frac{g}{A_2 \cdot \omega_2^2} \Rightarrow \frac{A_1 \cdot \omega_1^2}{A_2 \cdot \omega_2^2} = 1; \quad (6)$$

$$\frac{r_{B1} \cdot A_1}{R_1^2} = \frac{r_{B2} \cdot A_2}{R_2^2}; \quad (7)$$

$$\frac{R_{X1}}{R_1} = \frac{R_{X2}}{R_2}; \quad (8)$$

$$\frac{h_{y1}}{h_1} = \frac{h_{y2}}{h_2}. \quad (9)$$

В предположении соблюдения условия (6) за счет равенства амплитуд и частот колебаний, из (7) следует, что должно соблюдаться геометрическое подобие размеров корпуса смесителя и вибратора, т.е.

$$\frac{r_{B1}}{R_1^2} = \frac{r_{B2}}{R_2^2}.$$

На втором этапе теоретических исследований с применением метода анализа размерностей, выводились критериальные уравнения по определению мощности N, потребляемой кинематическим вибратором. Она расходуется на преодоление внешних сопротивлений смеси и механические потери:

$$N = N_1 + N_2,$$

где N_1 - мощность на преодоление внешних сопротивлений цементно-бетонной смеси; N_2 - мощность на механические потери в подшипниках.

При сравнении конструкции кинематического вибратора с конструкциями глубинных вибраторов для уплотнения смесей прослеживается их функциональная аналогия.

В работах ряда авторов [6,9,10] рассмотрен процесс глубинного вибрирования бетонных смесей. Отмечается, что наибольшие затруднения вызывает определение мощности, идущей на преодоление внешних сопротивлений, вследствие отсутствия достаточно полных данных о величине и законе их изменения.

Очевидно для того, чтобы бетонную смесь привести в состояние тиксотропного разжижения, необходимо затратить определенную работу, тем большую, чем жестче бетонная смесь. В связи с этим способность вибратора передавать энергию колебаний смеси и условие передачи этой энергии в смесь должны играть важную роль при определении эффективности вибратора.

Как показали исследования [9,11] лишь совокупность таких параметров как амплитуда, частота и форма колебаний, а также величина активной поверхности корпуса целиком определяют как величину энергии, развиваемой внутренним вибратором, так и условия передачи и воздействия колебаний на бетонную смесь.

На основе приведенного анализа можно записать функциональную зависимость мощности N_1 кинематического вибратора:

$$N_1 = f\left(A, \omega, \frac{F}{V}, h, g, \rho, \alpha\right), \quad (10)$$

где h - высота вибратора, находящегося в контакте со смесью, α - угол прецессии.

Введем дополнительный параметр α - угол прецессии, поскольку конструкция вибратора предусматривает в случаях необходимости устанавливать различные амплитуды колебаний по высоте слоя. Воспользовавшись принципами, изложенными выше для получения критериального уравнения (3) для определения вязкости, можно получить критериальную зависимость для двух установок вибратора:

для плоскопараллельной –

$$\frac{N_1'}{\rho \cdot \omega^3 \cdot A^5} = C' \cdot \left(\frac{g}{A \cdot \omega^2}\right)^{m_1'} \cdot \left(\frac{F \cdot A}{V}\right)^{m_2'} \cdot \left(\frac{h}{A}\right)^{m_3'}, \quad (11)$$

для прецессионной –

$$\frac{N_1''}{\rho \cdot \omega^3 \cdot A^5} = C'' \cdot \left(\frac{g}{A \cdot \omega^2}\right)^{m_1''} \cdot \left(\frac{F \cdot A}{V}\right)^{m_2''} \cdot \left(ctg\alpha\right)^{m_3''}. \quad (12)$$

Таким образом, применение метода физического моделирования при расчете роторно-вибрационного смесителя позволяет решить следующие задачи.

1. Определять критериальную зависимость эффективной вязкости (касательного напряжения сдвига) от параметров вибрации и геометрических размеров смесителя.

2. Определять зависимость мощности привода вибратора для плоскопараллельной и прецессионной установок.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Гухман А. А. Введение в теорию подобия. 2-е изд. М. : Высш. шк., 1975. 295 с.
2. Кирпичев М. В., Конаков П. К. Математические основы теории подобия. М.-Л. : Изд-во АН СССР, 1949. 98 с.
3. Седов Л. И. Метод подобия и размерности в механике. М. : Наука, 1972. 324 с.
4. Баловнев В. И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин : учеб. пособие для вузов. М. : Высш. шк., 1981. 335 с.
5. Десов А. Е. Вибраторы для бетона. М. : Машиностроение, 1949. 200 с.
6. Десов А. Е. Вибрированный бетон. М. : Госстройиздат, 1956. 229 с.
7. Куннос Г. Я., Скудра А. М. Теория и практика виброперемешивания бетонных смесей. Рига : Изд-во АН Латв. СССР, 1962. 216 с.
8. Гольдштейн Б. Г. Выбор параметров глубинных вибраторов для уплотнения бетона. М. : Машиностроение, 1968. 66 с.
9. Гольдштейн Б. Г., Петрунькин Л. П. Глубинные вибраторы для уплотнения бетона. М. : Машиностроение, 1966. 172 с.
10. Шмигальский В. Н. Станковое вибрирование бетонных смесей. Ростов на Дону, 1961. 48 с.
11. Теория подобия и размерностей. Моделирование / Алабужев П. М., Геронимус В. Б., Минкевич Л. М. и др. М., 1968.

Кузнецов А.М., Якимов С.А., Янушкин А.С., Лобанов Д.В. УДК 621.8

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕНИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ЗАТАЧИВАНИИ ТВЕРДО-СПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА С МАЛЫМ УГЛОМ ЗАОСТРЕНИЯ

В настоящее время отмечается существенный рост потребительского спроса на изделия, для изготовления которых широко применяются слоистые пластики: стеклотекстолит, ДСтП, ЦСП др. В состав этих композиционных материалов входят связующие элементы, которые в процессе обработки выступают в роли абразива. Это является причиной повышенного износа инструментального материала. Поэтому для достижения высокого качества изготовленных из композиционных материалов деталей и обеспечения высокой эффективности процесса обработки необходимо использовать инструменты, обладающие высокой износостойкостью. Для повышения износостойкости режущего инструмента наиболее перспективными являются упрочняющие технологии, такие как: лазерное упрочнение, электроискровое легирование, ионно-плазменное упрочнение, алмазное выглаживание, обкатка роликами или шариками и др. [1]. Использование указанных методов обуславливает применение специального дорогостоящего оборудования и значительных энергетических затрат, а результаты упрочнения не всегда дают ожидаемые результаты. Наряду с вышепере-

численными методами особого внимания требуют способы повышения износостойкости инструмента, основанные на применении износостойких инструментальных материалов и современных технологий затачивания [2].

На кафедре «Технология машиностроения» БрГУ проведены экспериментальные исследования стойкости различных твёрдосплавных инструментальных материалов при обработке ДСтП марки П – 1, где в качестве исследуемых инструментальных материалов использовались твёрдые сплавы марок Т5К10, Т15К6, Т30К4, ВК15, ВК8, и ВК3М [3]. Наилучшие результаты показал твердый сплав марки ВК3М, его стойкость в 4 -5 раз выше стойкости остальных исследуемых материалов (Рис. 1). Однако применение этого материала сопряжено с рядом трудностей, связанных с его хрупким разрушением в процессе затачивания, а также другими дефектами несоответствующими условиям производства. Например, несмотря на высокую износостойкость, хрупкий твердосплавный материал, особенно при малых углах заострения режущего инструмента, может стать причиной появления дефектов в виде макро- микротрещин и сколов на режущей кромке, образующихся в процессе затачивания, которые приводят к преждевременному разрушению и выходу инструмента из строя.

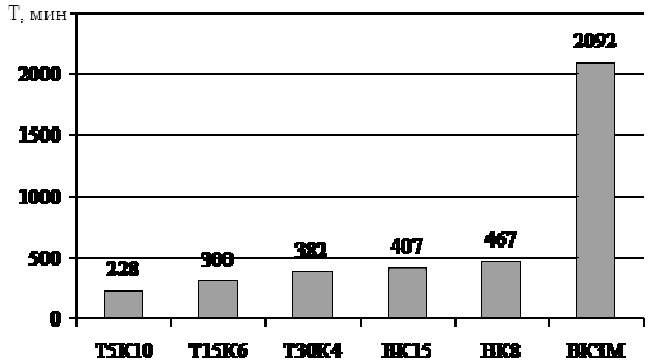


Рис. 1. Период стойкости инструмента, оснащенного твердыми сплавами при обработке ДСтП

Для изучения причин возникновения сколов на затачиваемом инструменте разработана методика расчета напряженно-деформированного состояния в области режущей кромки при различных схемах затачивания.

При этом решена задача, расчётная схема которой представлена на рис. 2.

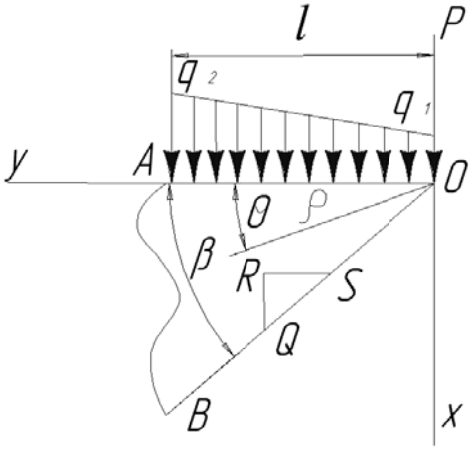


Рис. 2. Обобщенная схема к определению напряжений режущей части инструмента

Имеется бесконечно протяжённый плоский клин с вершиной в точке *O* и углом заострения *β*. На вершине клина действует сосредоточенная сила *P*. Нагрузка *P* погонная, равномерно распределена по ширине клина. На переднюю поверхность режущего элемента также действует распределённая нагрузка q, изменяющаяся по линейному закону (от q_1 до q_2).. Данная схема характеризует распределение сил, действующих на режущий элемент при затачивании и перетачивании поверхностей инструмента.

$$P = \frac{F}{l},$$

где *F* - сосредоточенная равнодействующая сила;

l – длина распределения нагрузки.

Считается, что максимальные технологические усилия направлены перпендикулярно к передней поверхности режущего элемента вдоль оси *OX*. Сосредоточенная нагрузка, возникающая на острие режущего клина инструмента, показана на рис. 3.

Пусть $\beta = 2\alpha$. Разложим силу *P* на две составляющие: P_1 – направленную вдоль оси симметрии режущего элемента и P_2 – действующую перпендикулярно оси симметрии.

Тогда:

$$P_1 = P \cdot \sin\frac{\beta}{2};\ P_2 = P \cdot \cos\frac{\beta}{2}.$$

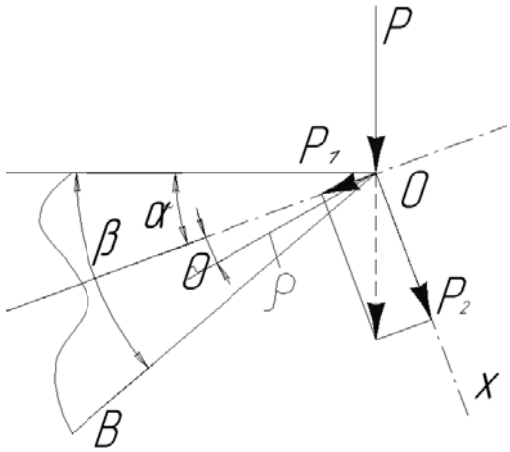


Рис. 3. Расчетная схема для решения задачи с сосредоточенной нагрузкой на режущей кромке инструмента

Согласно рекомендациям [4] решение рассматриваемой задачи имеет вид:

$$\begin{cases} \sigma_r = -\dfrac{2\cdot P}{\rho}\cdot\left(\dfrac{\sin\alpha\cdot\cos\theta}{\beta+\sin\beta}+\dfrac{\cos\alpha\cdot\sin\theta}{\beta-\sin\beta}\right); \\ \sigma_\theta = \tau_{r\theta} = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Из эпюры (рис. 4), построенной по уравнению (1), видно, что максимальные растягивающие напряжения возникают на поверхности ОА при θ = -α. В этом случае при соблюдении условия прочности материала режущего элемента $\sigma_r \le \sigma_в$ величину сколов на режущей кромке в процессе затачивания можно определить по уравнению (2):

$$\rho_{\max} = \frac{2\cdot P\cdot\beta\cdot\sin\beta}{\left(\beta^2-\sin^2\beta\right)\cdot\sigma_в}. \quad (2)$$

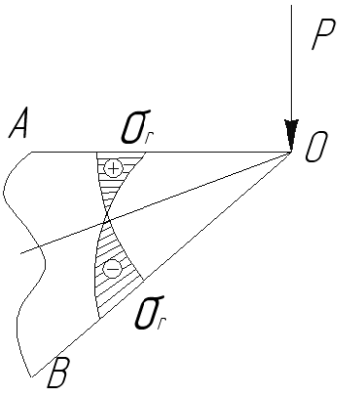


Рис. 4. Эпюра радиальных напряжений, возникающих на затачиваемом инструменте

В практических условиях можно рассмотреть несколько вариантов возникающих напряжений на поверхностях инструмента, связанных с различными методами и схемами затачивания. На рис. 4 показана схема затачивания передней поверхности инструмента чашечным кругом, при которой возникает равномерно распределенная нагрузка.

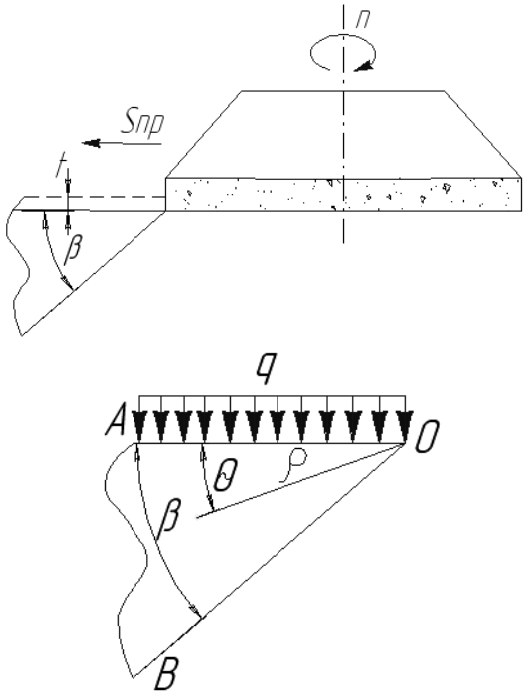


Рис. 5. Схема для решения задачи с распределенной нагрузкой

В этом случае можно предположить, что напряжение не зависит от радиус-вектора величины сколов на режущей кромке ρ, а является функцией угла наклона радиус-вектора θ. В этом случае, согласно рекомендациям [5], функция напряжений должна содержать множитель ρ^2, т.е. иметь вид:

$$\varphi(\rho,\theta) = \rho^2 f(\theta).$$

Решение данного уравнения можно записать:

$$\begin{cases} \sigma_r = -q\cdot\left(\dfrac{\sin\beta}{2\cdot k}+1\right)+q\cdot\dfrac{\cos\beta}{2\cdot k}\cdot\sin 2\theta = \\ \quad = q\cdot\dfrac{\sin\beta}{2\cdot k}\cdot\cos 2\theta + q\cdot\dfrac{\cos\beta}{k}\cdot\theta; \\ \sigma_r = -q\cdot\left(\dfrac{\sin\beta}{2\cdot k}+1\right)-q\cdot\dfrac{\cos\beta}{2\cdot k}\cdot\sin 2\theta + q\cdot\dfrac{\cos\beta}{k}\cdot\theta; \\ \tau_{r\theta} = q\cdot\dfrac{\cos\beta}{2\cdot k}+q\cdot\dfrac{\sin\beta}{2\cdot k}-q\cdot\dfrac{\cos\beta}{k}. \end{cases} \quad (3)$$

где $k = \beta\cdot\cos\beta - \sin\beta$.

Другой вариант схемы затачивания представлен для случая специально правленого или изношенного шлифовального круга. При этом важно решить задачу с действующей нагрузкой на режущий элемент, изменяющейся по линейному закону (Рис.6 а, б)

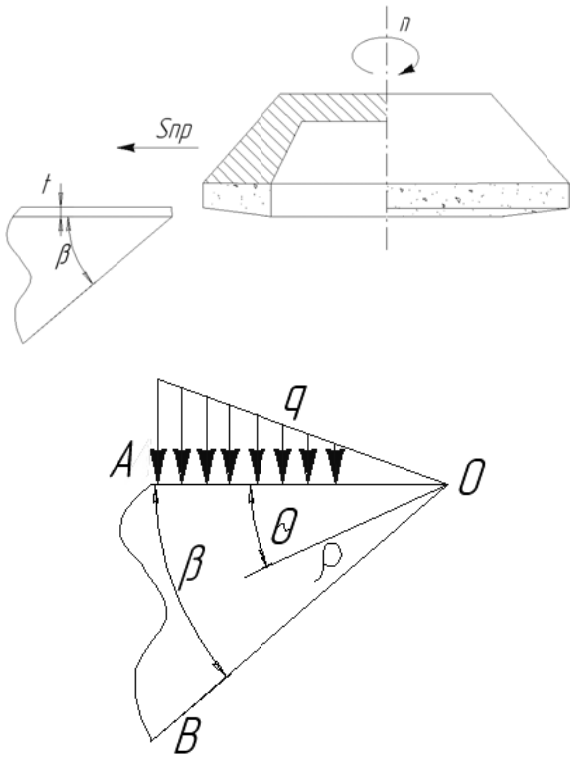


Рис. 6. Схема для решения задачи с нагрузкой на переднюю поверхность инструмента, изменяющейся по линейному закону

Данная задача по рекомендациям [4] имеет решение

$$\begin{cases} \sigma_r = 2\cdot A_1\cdot\rho\cdot\cos\theta + 2\cdot A_2\cdot\rho\cdot\sin\theta - \\ \quad -6\cdot A_3\cdot\rho\cdot\cos 3\theta + 6\cdot A_4\cdot\rho\cdot\sin 3\theta; \\ \sigma_\theta = 6\cdot A_1\cdot\rho\cdot\cos\theta + 6\cdot A_2\cdot\rho\cdot\sin\theta + \\ \quad +6\cdot A_3\cdot\rho\cdot\cos\theta + 6\cdot A_4\cdot\sin 3\theta; \\ \tau_{r\theta} = 2\cdot A_1\cdot\rho\cdot\sin\theta - 2\cdot A_2\cdot\rho\cdot\cos\theta + \\ \quad +6\cdot A_3\cdot\rho\cdot\sin 3\theta - 6\cdot A_4\cdot\rho\cdot\cos 3\theta, \end{cases} \qquad (4)$$

где

$$A_1 = -\frac{6\cdot P\cdot(1-3\cdot\sin\beta\cdot\sin 3\beta-\cos\beta\cdot\cos 3\beta)}{B};$$

$$A_2 = -\frac{6\cdot P\cdot(-3\cdot\cos\beta\cdot\sin 3\beta+\sin\beta\cdot\cos 3\beta)}{B};$$

$$A_3 = -\frac{2\cdot P\cdot(3-\sin\beta\cdot\sin 3\beta-3\cdot\cos\beta\cdot\cos 3\beta)}{B};$$

$$A_4 = -\frac{2\cdot P\cdot(3\cdot\cos\beta\cdot\sin 3\beta-\sin\beta\cdot\cos 3\beta)}{B};$$

$$B = 24\cdot(3-5\cdot\sin\beta\cdot\sin 3\beta-3\cdot\cos\beta\cdot\cos 3\beta).$$

Для примера показано решение задачи определения напряженно-деформированного состояния вблизи режущей кромки, на вершину которой действует сосредоточенная нагрузка согласно Рис.3. Необходимо исследовать зависимость напряжения от силы резания, угла заострения и определить максимальную величину сколов на режущей кромке затачиваемого инструмента.

В расчётах использован режущий элемент, оснащённый твердым сплавом марки ВК3М. Угол заострения β изменяется от 50^0 до 60^0 (рекомендуемые предельные значения угла заострения при обработке труднообрабатываемых композиционных материалов). Исследованные силы резания изменяются от 30 до 200 Н и экспериментально определены в зависимости от метода затачивания.

Зависимость напряжений, возникающих при затачивании твёрдосплавного инструмента марки ВК3М различными методами, от угла заострения β показана на рис. 7, где $\sigma_в$ - предел прочности материала ВК3М; σ_1 ,σ_2,σ_3 и σ_4 значения радиальных напряжений при силах P_1, P_2, P_3 и P_4 соответственно; P_1 = 30 Н – комбинированное электроалмазное затачивание с одновременной, непрерывной правкой круга; P_2 = 55 Н – электрохимическое затачивание; P_3 = 80 Н – алмазное затачивание; P_4 = 200 Н – алмазное затачивание кругами на органической связке без СОЖ.

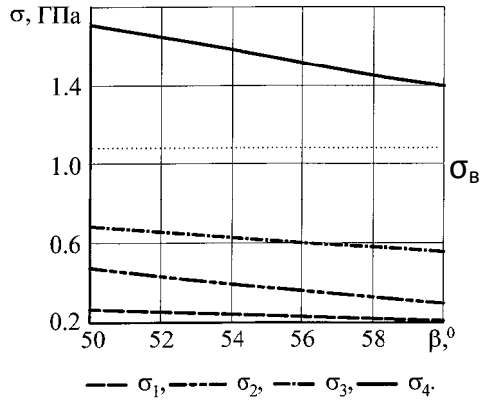


Рис. 7. График зависимости радиальных напряжений на поверхности инструмента от угла заострения β

Исследования влияния угла заострения затачиваемого инструмента на радиальные напряжения вблизи режущей кромки показали, что при формировании инструмента с углом заострения β = 50 … 60^0 и величиной сколов на режущей кром-

ке в пределах ρ = 5 мкм (допустимых для инструмента, обрабатывающего труднообрабатываемые композиционные материалы) показали, что при использовании метода алмазного шлифования без СОЖ, широко применяемого в производственных условиях, радиальные напряжения превышают критические напряжения для сплава ВК3М и приводят к его разрушению.

Далее представлены результаты исследования величины радиального напряжения от расстояния до режущей кромки (рис. 8).

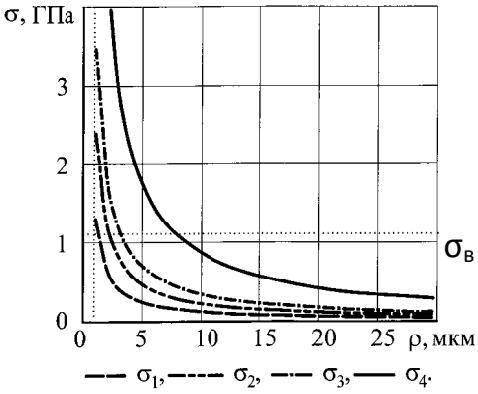
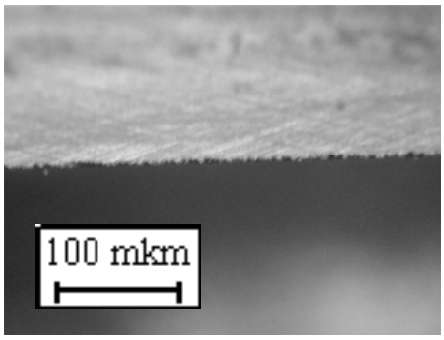


Рис. 8. График напряжений в зависимости от расстояния до режущей кромки инструмента, где $\sigma_в$ - предел прочности материала ВК3М; σ_1 ,σ_2,σ_3 и σ_4 значения радиальных напряжений при силах P_1, P_2, P_3 и P_4 соответственно

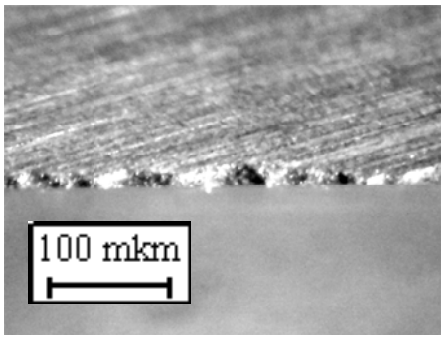
Анализ графика (рис.8) свидетельствует, что размер сколов на режущей кромке при использовании комбинированного электроалмазного метода имеет размер меньше, чем при использовании других методов затачивания. Размер сколов сопоставим с размерами зерен карбида вольфрама и составляет менее 2 мкм.

Данные исследования состояния режущей кромки позволяют рекомендовать к применению в промышленности комбинированный электроалмазный метод шлифования с одновременной непрерывной правкой круга, на который получен ряд патентов РФ [6,7], и получить качественный инструмент для обработки древесных композиционных материалов. Величина сколов на режущей кромке при использовании данного метода в сравнении с затачиванием деревообрабатывающего инструмента, оснащенного твердым сплавом марки ВК3М алмазными кругами в обычных условиях показана на рис.9 а,б.

Следует также отметить, что для обеспечения минимальных сил резания и соответственно наименьшего радиуса разрушения режущей кромки дереворежущего инструмента, заточенного комбинированным методом электроалмазного шлифования с одновременной непрерывной правкой поверхности круга, необходимо соблюдать рекомендованные режимы затачивания и правильный выбор шлифовальных кругов.



а)



б)

Рис. 9. Состояние режущей кромки твёрдосплавного инструмента после затачивания различными методами: а) – комбинированный электроалмазный метод; б) – затачивание алмазными кругами на органической и керамической связках

Рекомендуемые режимы затачивания твердосплавного деревообрабатывающего инструмента комбинированным электроалмазным методом с одновременной, непрерывной правкой поверхности круга представлены в табл. 1.

Таблица 1

Рекомендуемые режимы затачивания твердых сплавов комбинированным электроалмазным методом с одновременной, непрерывной правкой поверхности круга

Режимы обработки	iпр, А/см2	iтр, А/см2	V, м/с	S, м/мин	t, мм/дв.ход
ВК8	0,2...0,3	20	35	1,5...2,0	0,03...0,04
ВК3М	0,15...0,25	15	35	1.5	0,02...0,03

Таким образом, теоретические и экспериментальные исследования позволяют сделать вывод, что комбинированный электроалмазный метод с одновременной непрерывной правкой поверхности круга обеспечивает минимальные напряжения и сколы на режущей кромке и может быть рекомендован для подготовки к работе твёрдосплавного мелкозернистого инструмента с малыми углами заострения, предназначенного для обработки труднообрабатываемых композиционных материалов.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Вандерер К. М., Зотов Г. А. Специальный дереворежущий инструмент. М. : Лесн. пром-сть, 1983. 208 с.
2. Янюшкин А. С. Технология комбинированного электроалмазного затачивания твердосплавных инструментов. М. : Машиностроение, 2003. 242 с.
3. Янюшкин А. С., Лобанов Д. В., Кузнецов А. М. Перспективные инструментальные материалы для деревообрабатывающего инструмента // Новые материалы и технологии в машиностроении : сб. науч. тр. Брянск, 2003. Вып. 2. С. 105–107.
4. Теребушко О. И. Основы теории упругости и пластичности. М. : Наука, 1984. 320 с.
5. Зубчанинов В. Г. Основы теории упругости и пластичности. М. : Высш. шк., 1990. 368 с. : ил. ISBN 5-06-000706-5.
6. Пат. 42193 на полезную модель. Российская Федерация. Устройство для электроабразивной обработки с одновременной правкой круга / Янюшкин А. С., Ереско С. П., Сурьев А. А., Ереско В. С., Кузнецов А. М. № 2004122212 ; заявл. 21.07.2004 ; опубл. 27.11.2004. Бюл. № 33.
7. Патент 2268118 Российская Федерация. Способ электроабразивной обработки токопроводящим кругом с его одновременной правкой / Янюшкин А. С., Ереско С. П., Сурьев А. А., Ереско В. С., Кузнецов А. М. № 2004118239/02 ; заявл. 15.06.2004. ; опубл. 20.01.2006. Бюл. № 02.

Обрывалин А.В.

УДК 621.9

ОБРАБАТЫВАЕМОСТЬ РЕЗАНИЕМ МАТЕРИАЛА ВАГОННЫХ КОЛЕС ПОВЫШЕННОЙ ТВЕРДОСТИ ПРИ НАЛИЧИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ

Производительность и себестоимость проводимых ремонтных работ, нацеленных на восстановление профиля вагонного колеса повышенной твердости, во многом зависят от степени поврежденности его в эксплуатационный период различного рода дефектами.

Различные условия работы колесных пар обуславливают различные типы наиболее часто встречающихся дефектов, образующиеся на поверхности катания в эксплуатации.

Сравнение числа отцепок вагонов, поступивших в ремонт за один и тот же период, свидетельствует, что стойкость колёс повышенной твёрдости к износу на поверхности катания колеса и гребня более чем в два раза выше в сравнении со стандартными колёсами. Средний пробег колёсной пары с колёсами повышенной твёрдости до первой обточки составляет 279,7 тыс. км., а средний пробег серийных колёс – 106,3 тыс. км. Однако, внедрение в эксплуатацию твердых колес, заметно не снизило процент отцепок грузовых вагонов по повреждениям колес дефектами тормозного происхождения (ползунов и выщерблин 1-го рода). Таким образом, основной объем механической обработки (более 58 %) при восстановлении профиля вагонных колес повышенной твердости

направлен на устранение термомеханических повреждений с поверхности катания путем обточки на колесотокарном станке.

В процессе эксплуатации механические свойства поверхностных слоев металла колеса претерпевают значительные изменения. Это связано с упрочнением поверхностных слоев, во-первых, в результате наклепа, возникающего при пластическом деформировании металла колеса в процессе качения его по рельсу, во-вторых, в результате термомеханических повреждений. Данные авторов [1, 2] и результаты проведенных исследований по определению значений твердости колесной стали, после эксплуатации вагонного колеса, в различных сечениях показывают, что в области термомеханических повреждений твердость колесной стали, у поверхности, достигает значений 950 HV и более. Упрочненный слой колесной стали уходит в глубь колеса от поверхности катания на 4 – 5 мм, а в отдельных случаях – на 6 – 8 мм. Таким образом, механические свойства поверхностного слоя металла колеса в эксплуатации изменяются настолько радикально, что после короткого пробега на отдельных участках колеса наблюдаются свойства совершенного другого материала.

В вагоноремонтных депо весьма остро стоит проблема, связанная с восстановлением профилей вагонных колес повышенной твердости с термомеханическими повреждениями (ТМП). Проблема состоит в том, что обточка колес с ТМП сопровождается значительными ударными нагрузками, которые приводят к разрушениям режущих твердосплавных пластин (рис. 1).

Рис. 1. Фотографии разрушенных режущих твердосплавных пластин после обтачивания вагонных колес повышенной твердости с ТМП

Снижение скоростей резания при обточке колеса до минимума 18 – 20 м/мин., дает положительный эффект лишь в ряде случаев, когда на поверхности катания выщерблины или мелкие ползуны (глубина которых не более 0,5 мм), но и при этих условиях наблюдаются крупные сколы режущих кромок твердосплавных пластин. Кроме того, значительно снижается производительность обработки таких колес, так вместо установленных 0,87 норма-ч. на восстановление профиля твердого колеса при наличии ТМП, требуется порядка 1,2-1,6 норма-ч. Попытки применить так называемый метод резания «под корку», когда в процессе механической обработки с целью снижения ударного воздействия от упрочненного участка на режущую кромку резца врезаются им «под дефект», который применяли при обточке серийных вагонных колес с ТМП, не дали ожидаемого эффекта. Таким образом, большинство твердых колес с ползунами, глубина которых более 0,5 мм, не поддаются обточке лезвийным инструментом. В результате чего, такие колеса приходится спрессовывать с осей колесных пар и отправлять на переплавку. Так по средним данным двух вагонных депо Омск – Сортировочный и Московка более 68 % колесных пар, имеющих на поверхности катания колеса ползун, а это порядка 19 % от общего числа колесных пар, поступающих на механическую обработку, отправляются на операцию замены колес на оси.

Это обстоятельство значительно сокращает эксплуатационный ресурс вагонных колес повышенной твердости, поврежденных ползунами, так как при наличии технологии и необходимого оборудования, позволяющего восстановить профиль таких колес, большинство из них могло бы пройти еще при среднем пробеге между обточками 279,7 тыс. км. порядка 800 тыс. км.

Кроме того, следует отметить, что значительно возрос расход режущих твердосплавных пластин в 3 – 5 раз при обработке твердых колес, по сравнению с обработкой серийных колес.

Таким образом, существующее положение и перспектива с обтачиванием вагонных колес повышенной твердости, имеющих на поверхности катания термомеханические повреждения, делают проблему изыскания методов, улучшающих обрабатываемость материала колеса весьма актуальной.

Одним из важнейших технологических свойств материала является его обрабатываемость резанием – способность поддаваться обработке режущими инструментами, в значительной степени характеризующее уровень затрат для достижения заданных производительности и качества обработки изделия.

Приведенные и исследованные в литературе критерии обрабатываемости оценивают влияние ограниченного количества параметров, оказывающих влияние на процесс резания. Эти подходы не дают возможность оптимизировать процесс с учетом свойств поверхностных слоев металла ко-

леса, приобретенных в эксплуатации. Вопросы обрабатываемости деталей с эксплуатационными дефектами изучены не достаточно, что не дает возможность определить рациональные режимы резания для большинства операций механической обработки в ремонтном производстве.

Анализ и обобщение имеющихся данных о влиянии твердости на обрабатываемость стали, оцениваемой допустимой скоростью резания по 60-и минутной стойкости $Vт_{60}$ [3], для колесной стали, в частности, по данным С. В. Урушева [4] и фирмы Сандвик – МКТС [5], позволили построить зависимость влияния твердости колесной стали на значение KV_{T60} (рис. 1). В качестве эталона взята колесная сталь марки 2 (ГОСТ 10791–89) с исходной твердостью 260 НВ. По сравнению со сталью 45 (180 НВ) эта сталь имеет коэффициент обрабатываемости KV_{T60} = 0,7 и, соответственно V_{T60} = 75 м/мин, а для вагонных колес из стали повышенной износостойкости KV_{T60} = 0,3 – 0,6 и V_{T60} = 25 – 60 м/мин. (рис. 1).

Применение данного критерия для оценки обрабатываемости материала колеса резанием имеет место, если процесс обработки поверхности колеса протекает относительно стабильно (без ударов). Поэтому данный критерий не отражает влияния всего многообразия параметров, определяющих обрабатываемость деталей с эксплуатационными дефектами.

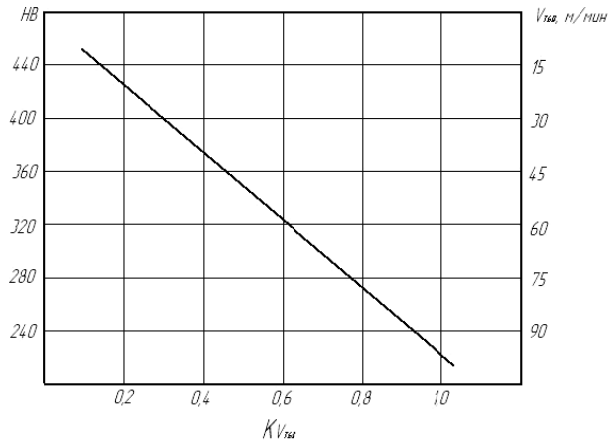


Рис. 2. Влияние твердости колесной стали на ее обрабатываемость резанием твердосплавным инструментом

Обтачивание колес с ползунами, выщерблинами, раковинами и т. п. дефектами сопровождается ударными нагрузками, отрицательно влияющими на режущий инструмент и оборудование. Поэтому наряду с критерием обрабатываемости KV_{T60}, предлагается оценивать обрабатываемость срезаемого слоя металла колеса при восстановлении его профиля через допустимую стойкость режущей пластины на удар $\sigma_{уд}$.

Значительный скачок и максимальные значения контактных нагрузок возникают при ударе, возникающем при врезании режущего инструмента в участок термомеханического повреждения, кроме того, удар также наблюдается и при обработке вагонных колес с выщерблинами 2-го рода и раковинами на поверхности катания.

Напряжения в момент удара выражаются через коэффициент динамичности μ. Из сопротивления материалов известно [6], что коэффициент динамичности μ – это отношение динамического значения некоторого фактора (усилия, напряжения, перемещения) к соответствующему статическому значению этого фактора. Если принять напряжения, возникающие на режущей пластине в процессе стабильного резания, за статические значения, то коэффициент динамичности определяется выражением

$$\mu = \frac{\sigma_{уд}}{\sigma_0}, \qquad (1)$$

где $\sigma_{уд}$ – напряжение на режущей пластине в момент удара, ГПа; σ_0 – напряжение на режущей пластине при стабильном точении материала (без ударных нагрузок), ГПа.

Таким образом, для определения напряжений в момент удара необходимо напряжения при стабильном резании умножить на коэффициент динамичности, но возникают трудности с определением значений коэффициента, так как в литературе, посвященной обработке материалов резанием, нет определенных значений данного коэффициента или зависимостей, позволяющих его определить.

В результате проведенного в ОмГУПСе экспериментального исследования процесса резания, сопровождающегося ударными нагрузками, возникающими на режущем инструменте, от искусственно смоделированного дефекта, были получены данные, обработка которых по известным методикам [7], позволила построить регрессионную модель зависимости коэффициента динамичности от таких параметров, как скорость резания, глубина резания, подача и твердость металла, которая в кодированных значениях выглядит следующим образом:

$$y = 1{,}73 + 0{,}51 \cdot x_1 + 0{,}0053 \cdot x_2 + 0{,}04 \cdot x_3 + 0{,}012 \cdot x_4, \qquad (2)$$

где x_1 – кодированное значение скорости резания; x_2 – кодированное значение глубины резания; x_3 –

кодированное значение подачи; x_4 – кодированное значение твердости металла.

Оценка значимости коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента показала, что коэффициенты при факторах x2, x3, и x4 являются малозначимыми и ими при построении модели можно пренебречь. Исходя из этого, модель принимает следующий вид

$$y = 1{,}73 + 0{,}51 \cdot x_1 . \qquad (3)$$

Проверка адекватности полученной модели по критерию Фишера показала, что модель адекватна при 5 % уровне значимости. Переход от кодированных значений к натуральным величинам позволил получить зависимость коэффициента динамичности от скорости резания в диапазоне скоростей от 15 до 55 м/мин

$$\mu = 0{,}84 + 0{,}026 \cdot V , \qquad (4)$$

где V – скорость резания, м/мин.

Графически зависимость представлена на рис. 2.

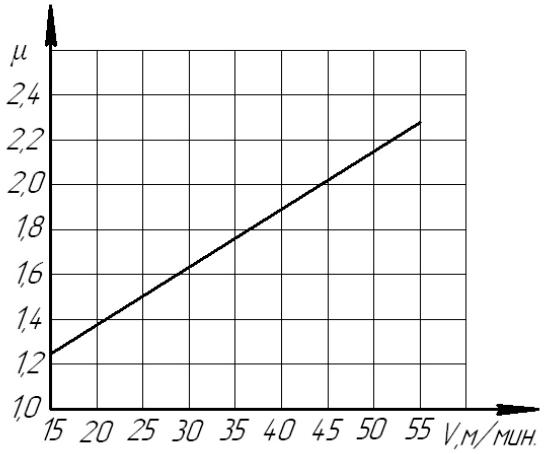


Рис. 3. Зависимость коэффициента динамичности от скорости резания

Получив данную зависимость, можно определить контактные напряжения, возникающие в момент удара на режущем инструменте, и объяснить картину, связанную с участившимися случаями выхода из строя режущих пластин по сколам лезвий и разрушениям при обточке вагонных колес повышенной твердости с ТМП.

Так при черновой обточке колеса, на установленных нормами режимах резания V = 35 – 40 м/мин., t = 8 мм, S = 1,2 мм/об., средние значения контактных напряжений, возникающих на режущей пластине при отсутствии ТМП на поверхности колеса, составляют величины порядка σ = 2,23 ГПа. Исходя из зависимости, приведенной на рис. 1, коэффициент обрабатываемости равен 0,42, поэтому период стойкости режущей грани пластины составляет 20 – 25 мин. Однако, если выполняется обточка колеса на тех же режимах резания, но на поверхности колеса находится ползун, твердость металла которого составляет 950 HV, картина кардинально меняется. Так как в процессе в резания режущего инструмента в упрочненную область колеса происходит удар, и на инструменте возникают контактные напряжения, значения которых определяются выражением

$$\sigma_{уд} = \sigma_0 \cdot \mu , \qquad (5)$$

где σ_0 = 4,53 ГПа – напряжение на режущей пластине при стабильном точении материала твердостью 950 HV, μ = 1,88 – коэффициент динамичности при скорости резания 40 м/мин. Таким образом, контактные напряжения, возникающие на режущей пластине в момент удара составляют $\sigma_{уд}$ = 8,51 ГПа. Так как предел прочности режущих твердосплавных пластин на сжатие 6 ГПа, то можно сделать вывод о том, что на данных режимах резания невозможно обточить колесо с ползуном, металл, в области которого, упрочнен до 950 HV, поскольку возможно полное разрушение режущей пластины. При снижении скорости резания до минимальных значений 17 – 20 м/мин., что в принципе и делают токаря в колесных мастерских при обточке колес, пытаясь избежать разрушения пластины, происходит понижение коэффициента динамичности до μ = 1,28, при этом соответственно уменьшается $\sigma_{уд}$ = 6,6 ГПа. Вместе с тем контактные напряжения в момент удара, попрежнему, превышают предел прочности пластины на сжатие.

Одним из наиболее эффективных путей решения проблемы является улучшение обрабатываемости срезаемого слоя металла колеса за счет восстановления его свойств до исходного состояния. Для достижения этой цели можно использовать способ, разработанный учеными отраслевой научно-исследовательской лаборатории ЛИИЖТа по совершенствованию ремонта и формирования колесных пар в содружестве с ВНИИЖТом, ВНИИ токов высокой частоты и Октябрьским электровагоноремонтным заводом, предусматривающий многоступенчатый отжиг верхних слоев металла поверхности катания колес, путем нагрева

их токами высокой частоты перед обтачиванием колесных пар. Данный метод позволяет произвести отжиг твердых участков (600–1000 HV) до 300–320 HV, то есть максимально приблизить механические свойства срезаемого припуска к исходным свойствам колесной стали, и, как следствие, улучшить обрабатываемость резанием. Однако, имеется недостаток данного метода, состоящий в том, что после двухступенчатого нагрева поверхностных слоев необходимо выполнять охлаждение массы металла колеса в течение 1,5 часов до передачи колесной пары на колесотокарный станок. Это обстоятельство значительно снижает производительность ремонта колесной пары в целом.

Повышение производительности и существенного снижения расхода режущего инструмента обеспечивает применение плазменно-механической обработки колес, но попытка внедрения этого метода в двух депо ст. Омск выявили ряд организационных и технических проблем, таких как, высокий уровень шума, вредные выделения, излучения, трудности с управлением процессом резания и неудовлетворительное стружкодробление.

Для улучшения обрабатываемости металла колеса резанием в ОмГУПСе разработан способ подготовки поверхности катания колеса к обтачиванию на колесотокарном станке. Способ, заключается в том, что предлагается устранять с поверхности катания колеса термомеханические повреждения (ползуны, выщерблины), которые не могут быть обработаны лезвийным инструментом из-за высокой твердости металла (650 – 950 HV) в их области, путем местной обработки шлифовальным кругом. Применение данного способа позволяет создать более благоприятные условия для работы режущего инструмента на последующей токарной операции, выраженные в исключении ударных нагрузок от ползунов и выщерблин при обтачивании поверхности катания колеса, приводящих к разрушению режущих пластин и резцовых блоков. При вырезании ползуна шлифовальным кругом с поверхности катания колеса, не исключаются ударные нагрузки, но удар уже происходит не от упрочненного участка (950 HV), а от врезания режущего инструмента в основной металл твердостью 320 HB, в результате чего напряжения в момент удара $\sigma_{уд}$ = 4,1 ГПа при скорости резания 40 м/мин.

Способ подготовки поверхности катания колеса к лезвийной обработке путем устранения с поверхности катания дефектных участков, усложняющих процесс резания, методом силового шлифования разрабатывался с учетом данных, полученных при исследовании возможности использования силового и скоростного шлифования для обработки профиля катания железнодорожного колеса [8].

Разработанный способ, по сравнению со способом врезного профильного высокоскоростного шлифования (ВПВШ), более экономичен по расходу абразивного инструмента и более производителен в силу того, что обработка производится не по всей длине окружности колеса, а лишь на определенном участке, содержащем дефект, а весь остальной технологически необходимый слой металла для восстановления профиля снимается резцом на последующей токарной операции.

Для подтверждения целесообразности внедрения в технологию восстановления профиля вагонных колес повышенной твердости подготовительной операции, нацеленной на устранение ТМП был проведен производственный эксперимент на КРЦ вагоноремонтного депо Московка. Для проведения эксперимента были выбраны колесные пары с колесами, которые необходимо было спрессовать с осей из-за невозможности обточки профиля колеса резцом. Эксперимент состоял в том, что перед обработкой вагонного колеса повышенной твердости на колесотокарном станке с его поверхности были вырезаны ползуны и выщерблины на глубину 4 – 5,5 мм. Операция выполнялась ручным механизированным инструментом (пневматической шлифовальной машиной). Затраты времени на выполнение данной операции составили порядка 85 – 125 минут. Затем проводилось черновое обтачивание на колесотокарном станке на следующих режимах: V = 35 м/мин., S=1,2 мм/об, t=6 мм.

Проведенный эксперимент показал, что применение способа подготовки поверхности катания вагонного колеса к лезвийной обработке, в качестве предварительной технологической операции, позволяет снизить ударные нагрузки и исключить разрушение режущих пластин и кассет сборного инструмента. Однако, использовать для выполнения данной технологической операции ручной механизированный инструмент нецелесообразно из-за высокой трудоемкости (85 – 125 минут), а также по соображениям техники безопасности, т. к. обработка сопровождается вибрациями, которые могут привести к разрушению шлифовального круга и травматизму работающего.

Исходя из выше изложенного, следует, что для выполнения технологической операции направленной на подготовку поверхности катания вагонного колеса к лезвийной обработке, необхо-

димо использовать технологическое оборудование, позволяющее производить местное удаление термомеханических повреждений методом силового шлифования с интенсивным охлаждением. Внедрение данного оборудования позволит снизить трудоемкость и обеспечить безопасность выполнения этой операции.

Для достижения этой цели разработана установка по подготовке поверхности катания вагонного колеса к лезвийной обработке, которая состоит из двух опор, механизма привода возвратно-вращательного движения, рычага, механизма подач и шлифовальной головки [9]. Установка по подготовке поверхности катания вагонного колеса к лезвийной обработке работает следующим образом. На опоры устанавливается колесная пара, в средней части оси, которой закрепляется рычаг, связанный с механизмом привода возвратно-вращательного движения, приводимого в действие от электродвигателя. Таким образом, колесная пара может совершать возвратно-вращательное движение относительно собственной оси на определенный угол в зависимости от настройки механизма привода возвратно-вращательного движения. Это позволяет выполнять обработку не по всей длине окружности вагонного колеса, а лишь на участке, который содержит термомеханическое повреждение. Работающий электродвигатель шлифовальной головки передает вращение на шлифовальный круг, который врезается своей периферией в участок термомеханического повреждения на поверхности катания вагонного колеса повышенной твердости. Врезание шлифовального круга в поверхность колеса и его перемещение в продольном направлении осуществляется через механизм подач путем перемещения шлифовальной головки в поперечном и продольном направлении относительно оси колесной пары соответственно.

Вывод. Внедрение в существующую технологию восстановления профиля вагонного колеса повышенной твердости дополнительной операции, нацеленной на устранение термомеханических повреждений, позволит значительно сократить расход дорогостоящих твердосплавных пластин, а так же увеличить срок эксплуатации вагонных колес за счет возможности восстановления их профилей, которые при существующей технологии ремонта браковались и изымались из эксплуатации. Ожидаемый годовой экономический эффект по экономии твердого сплава с одной рабочей позиции при двух сменной работе (при средней стоимости режущей твердосплавной пластины порядка 700 руб.) составит 586 тыс. руб.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Ларин Т. В. Исследование механического износа, усталостного выкрашивания, образования выщербин // Сб. науч. тр. ВНИИЖТа. 1977. Вып. 581. С. 51–68.
2. Марков Д. П. Типы катастрофического изнашивания колесно-рельсовых сталей // Вестн. ВНИИЖТа. 2004. № 2 С. 34–39.
3. Справочник инструментальщика / И. А. Ординарцев, Г. Н. Филиппов, А. Н. Шевченко. Л. : Машиностроение, 1987. 846 с.
4. Урушев С. В. Разработка ресурсосберегающих технологий ремонта колес железнодорожного подвижного состава : специальность 05.22.07 : дис на соиск. учен. степ. д-ра техн. наук. СПб., 2000. 450 с.
5. Сменные пластины и инструмент Сандвик–МКТС. М. : Проспект, 2000. 170 с.
6. Александров А. В., Потапов В. Д., Державин Б. П. Сопротивление материалов М. : Высш. шк., 2000. С. 470–476.
7. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М. : Наука, 1976. С. 141–153.
8. Иванов И. А. Перспективы использования шлифования при восстановлении профиля катания колесных пар // Вопросы оптимизации технологических процессов и оборудования ремонтного производства. Повышение долговечности подвижного состава : сб. науч. тр. Л., 1976. Вып. 395. С. 65–72.
9. Пат. 76273 на полезную модель, МПК В 24 В 5/46. Установка по подготовке поверхности катания вагонного колеса к лезвийной обработке / А. В. Обрывалин.

Лапшин В.Л., Ященко В.П., Перелыгина А.Ю., Демаков Е.И. УДК 620.17

ВЛИЯНИЕ УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БЛОКА МЕХАНОРЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НА СИЛУ УДАРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СФЕРИЧЕСКОГО ТЕЛА С ПЛОСКОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

В результате выполненных исследований для углубленного моделирования и изучения процесса ударного взаимодействия сферического тела с плоской поверхностью была разработана упруго-вязко-пластичная механореологическая модель (рис.1) [1]. Модель обеспечивает исследование основных закономерностей процесса ударного взаимодействия тел, а именно: зависимости силы контактного взаимодействия, времени удара, высоты отскока сферического тела от физико-механических свойств материала (упругости, вязкости, пластичности), размера сферического тела, скорости удара. Предложенная модель (рис.1) имеет в своем составе два последовательных блока: упруго-вязкий блок $K_1 - C$ и упруго-пластический блок $K_2 - f_2$.

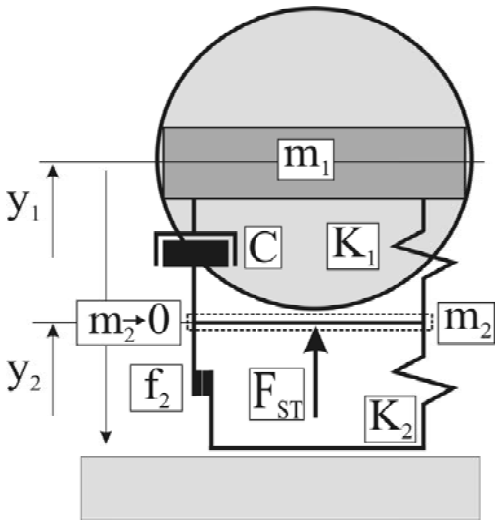


Рис.1. Схема упруго-вязко-пластичной модели

С помощью блока $K_1 - C$ учитываются упруго-вязкие деформации системы сферическое тело-плоская поверхность и возникающие при этом потери энергии. В этом блоке использован вязкий элемент C (демпфер) с нелинейной характеристикой, сила сопротивления которого зависит от скорости и величины упруго-вязкой деформации системы сферическое тело-плоская поверхность, возникающей при ударном воздействии сферического тела на поверхность. Сила упругих сопротивлений в упругом элементе K_1 нелинейно зависит от величины деформации системы.

Блок $K_2 - f_2$ определяет пластические (остаточные) деформации системы сферическое тело-плоская поверхность и учитывает возникающие при этом потери энергии. Использование элемента сдвига f_2 и упругого элемента K_2 обеспечивает более полное и эффективное моделирование такого явления, как упрочнение материала, при котором увеличение пластической деформации в материале сопровождается ростом усилия сопротивления деформированию.

Масса сферического тела сосредоточена в инерционном элементе m_1, масса элемента m_2 принимается ничтожно малой ($m_2 \to 0$), поэтому она не оказывает заметного влияния на динамику движения упруго-вязко-пластичной модели. Она введена для удобства математического описания динамики движения модели с помощью двух дифференциальных уравнений второго порядка.

На начальном этапе ударного взаимодействия возникает только упруго-вязкая деформация. Динамика движения массы m_1 описывается дифференциальным уравнением следующего вида [1]:

$$m_1\ddot{y}_1 + C(\dot{y}_1 - \dot{y}_2)^{a1}(y_1 - y_2)^{a2} + \\ + K_1(y_1 - y_2)^{n1} = -m_1 g.$$

Упруго-пластический блок включается в работу, когда усилие сопротивления деформированию F_{ST} достигает заданного значения, соответствующего интенсивному появлению в материале пластических деформаций. Дифференциальные уравнения движения масс m_1 и m_2 на данном этапе имеют вид [1]:

$$m_1\ddot{y}_1 + C(\dot{y}_1 - \dot{y}_2)^{a1}(y_1 - y_2)^{a2} + \\ + K_1(y_1 - y_2)^{n1} = -m_1 g;$$

$$m_2\ddot{y}_2 + K_2 y_2^{\ n2} + f_2 y_2^{\ n3} + \\ + C(\dot{y}_2 - \dot{y}_1)^{a1}(y_2 - y_1)^{a2} + \\ + K_1(y_2 - y_1)^{n1} = -m_2 g + F_{ST},$$

где: $y_1, y_2, \dot{y}_1, \dot{y}_2$ - перемещение и скорость центров тяжести масс m_1 и m_2 соответственно; K_1, K_2 – коэффициенты жесткости соответствующих упругих элементов модели; C – коэффициент вязкости вязкого элемента модели; f_2 - коэффициент сдвига элемента сдвига модели; F_{ST} – усилие сопротивления деформированию, соответствующее началу образования пластических деформаций.

После того, как деформация системы сферическое тело-плоская поверхность достигает максимального значения, на модели начинается этап разгрузки. При этом функционирует только упруго-вязкий блок модели, описывающий исчезновение только упругих деформаций.

Если говорить о конкретных значениях степенных показателей n_1, n_2, n_3, a_1, a_2, характеризующих нелинейность упругих, вязких сопротивлений и сопротивления сдвигу, то можно рекомендовать следующие значения. Сила упругих сопротивлений при ударном взаимодействии сферического тела пропорциональна величине упругой деформации в степени $n_1 = n_2 = 3/2$, сила пластических сопротивлений (сопротивлений сдвигу) может быть приближенно принята пропорциональной пластической деформации в степени $n_3 = 1$. Диссипативные сопротивления при исследовании колебательных и ударных процессов чаще всего принимаются пропорциональными скорости деформации ($a_1 = 0; a_2 = 1$).

Важным параметром упруго-вязкого блока модели является коэффициент демпфирования $\nu = n/P$ ($n = C/2m_1$; $P = \sqrt{K_1/m_1}$) [2]. Для абсолютно упругого удара $\nu = 0$. С увеличением ν потери энергии при упруго-вязком ударном взаимодействии модели увеличиваются, что соответствует уменьшению высоты отскока сферического тела от поверхности.

Коэффициент жесткости упругого элемента модели K_1 связан с механическими свойствами и геометрическими параметрами сферического тела и опорной поверхности и рассчитывается по формуле [2]:

$$K_1 = \frac{4}{3\pi}\sqrt{\frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2)\left[\frac{1-\mu_1^2}{\pi E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{\pi E_2}\right]^2}},$$

где E_1, E_2 - модули упругости сферического тела и опорной поверхности; μ_1, μ_2 - коэффициенты Пуассона сферического тела и опорной поверхности; R_1, R_2 - радиусы кривизны сферического тела и опорной поверхности. При данных исследованиях процесса соударения сферического тела с плоской поверхностью для поверхности принималось условие $R_2 \to \infty$.

Сила упруго-вязких сопротивлений деформированию блока $K_1 - C$ определяется:

$$N_1 = C(\dot{y}_1 - \dot{y}_2)^{a1}(y_1 - y_2)^{a2} + K_1(y_1 - y_2)^{n1},$$

а сила упруго-пластических сопротивлений в блоке $K_2 - f_2$ соответственно:

$$N_2 = K_2 y_2^{\ n2} + f_2 y_2^{\ n3} + F_{ST}.$$

При выполнении условия $m_2 \to 0$ допустимо принять $N_1 = N_2 = N$.

Для решения дифференциальных уравнений использовался численный метод Рунге-Кутта.

С использованием упруго-вязко-пластичной механореологической модели был выполнен комплекс численных экспериментов, позволивших оценить значимость упруго-пластического блока $K_2 - f_2$, добавленного в исходную упруго-вязкую модель [2]. Целью исследования являлось выявление основных закономерностей, характеризующих влияние упруго-пластических параметров механореологической модели K_2, f_2 на силу ударного воздействия сферического тела на плоскую поверхность.

В качестве примера на рис. 2-5 приводятся результаты численных экспериментов при следующих параметрах ударного процесса: сферическое стальное тело $R_1 = 4{,}75 мм$ и массой $m = 3{,}5 г$; высота падения $h = 30 мм$; коэффициент Пуассона опорной поверхности $\mu = 0{,}27$; модуль Юнга

опорной поверхности $E_2 = 50000 - 200000\ МПа$; $\nu = 0{,}001$; $F_{ST} = 10\ Н$; $a_1 = 0; a_2 = 1$ (диссипативные сопротивления пропорциональны скорости деформации); $n_1 = n_2 = 3/2$ (для сферической контактной поверхности); $n_3 = 1$. Для удобства сопоставления численных значений коэффициентов модели f_2 и K_2 с упругим коэффициентом исходной упруго-вязкой модели K_1, их значения задавались при помощи коэффициентов пропорциональности F_K и F_f: $F_K = K_2 / K_1$; $F_f = f_2 / K_1$.

Рассмотрим влияние факторов F_K и F_f на силу контактного взаимодействия сферического тела с плоской поверхностью. Результаты исследования, представленные в виде графиков, приводятся на рис. 2-3. При увеличении коэффициента сдвига f_2 упруго-пластического блока модели сила контактного взаимодействия увеличивается. При достижении величины $f_2 = 0{,}1K_1$ сила кон-

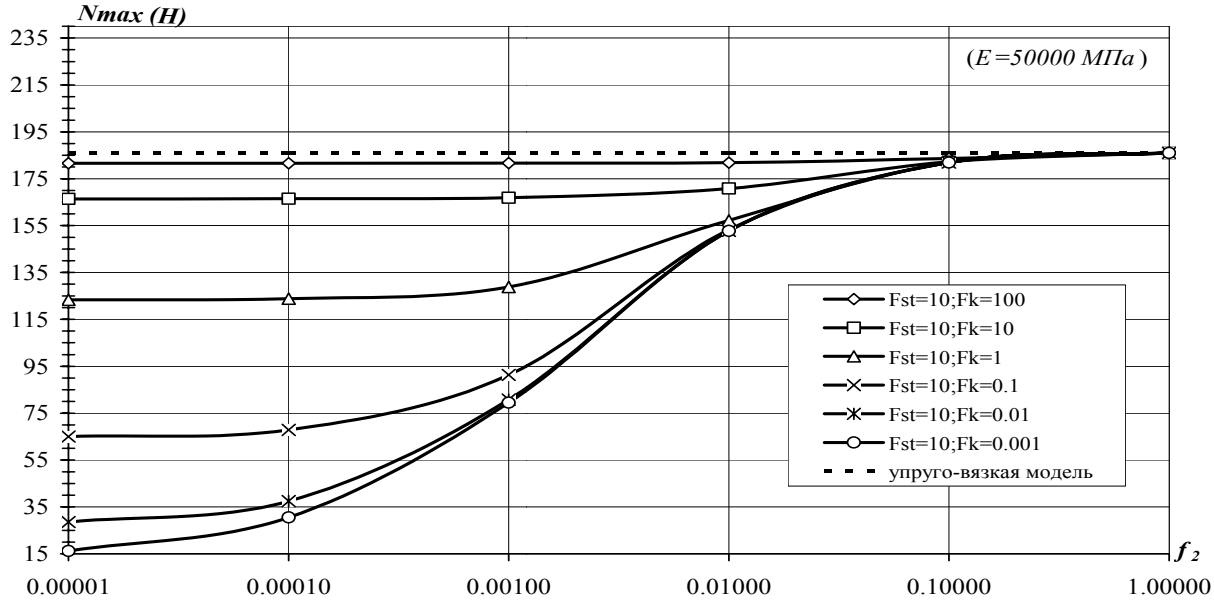


Рис. 2. Зависимость N_{max} от f_2

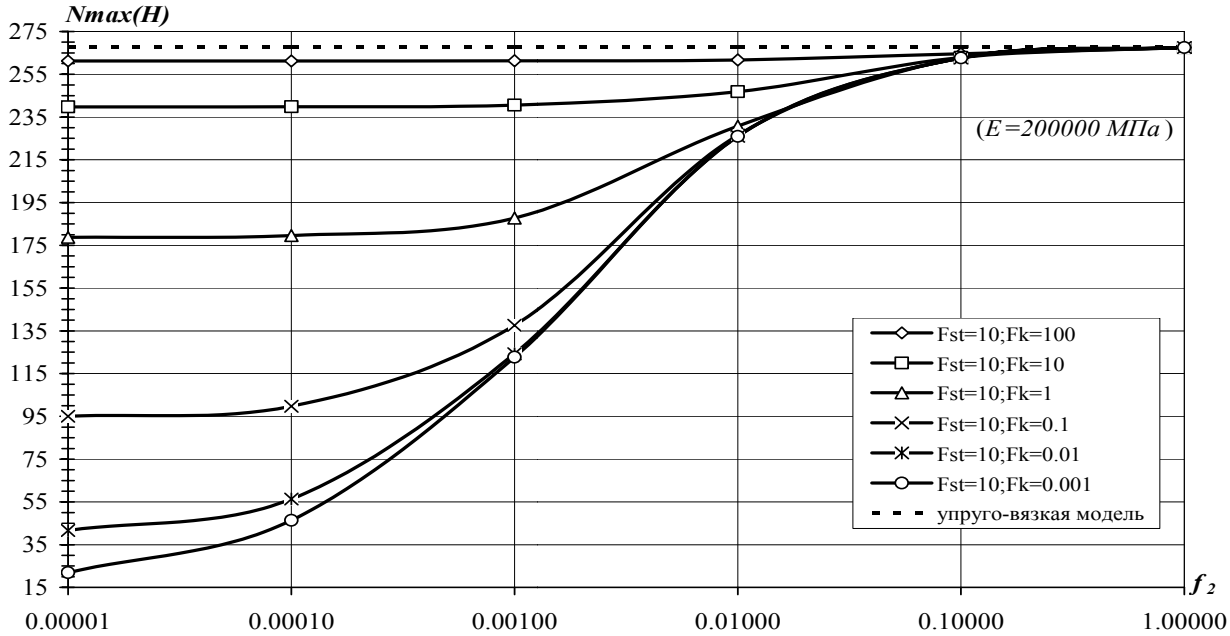


Рис. 3. Зависимость N_{max} от f_2

тактного взаимодействия практически стабилизируется. При этом, с увеличением коэффициента жесткости упругого элемента K_2 упруго-пластического блока, влияние параметра f_2 уменьшается. При достижении величины $F_K = 10$ влияние f_2 становится малосущественным. Увеличение K_2, также как и $K_1 = f(E)$, приводит к увеличению силы контактного взаимодействия. Таким образом, диапазоны варьирования численных значений параметров упруго-пластического блока модели, в пределах которых наблюдается их значимое влияние на динамику протекания ударного процесса, для рассмотренных условий можно ограничить следующими значениями: $F_K = 0{,}001 - 10$; $F_f = 0{,}00001 - 0{,}1$.

Другим важным параметром ударного взаимодействия является временное положение максимума силы контактного взаимодействия ($N_{\max}$) в течение удара (рис.4,5). Данный параметр опи-

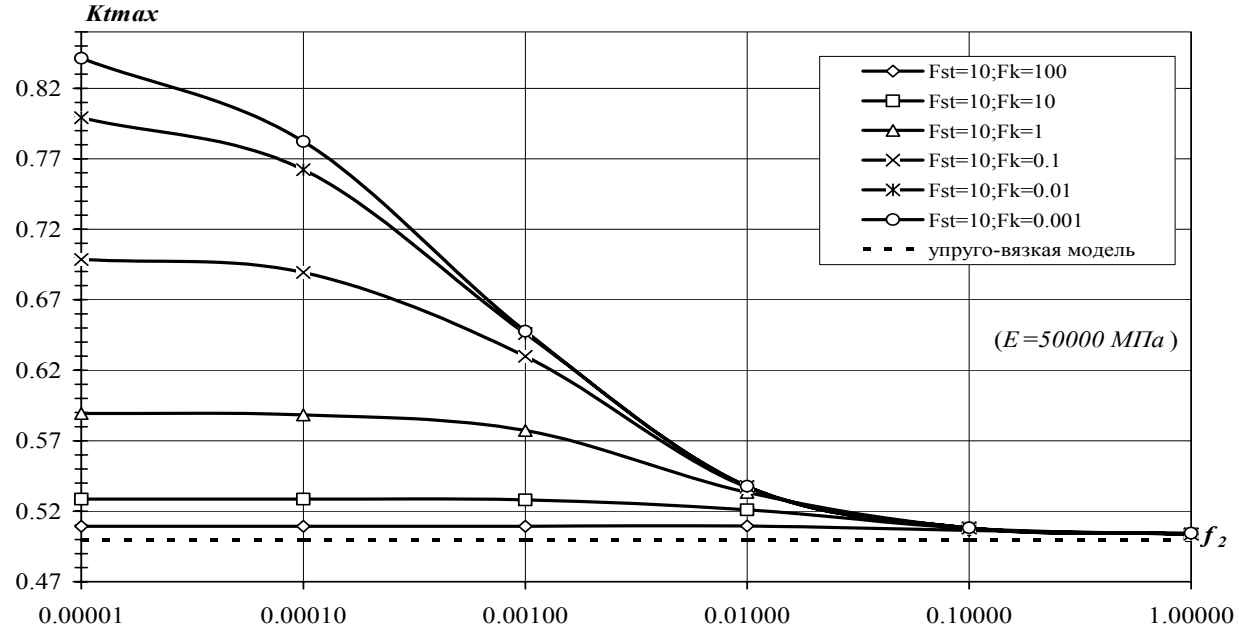


Рис. 4. Зависимость K_{tmax} от f_2

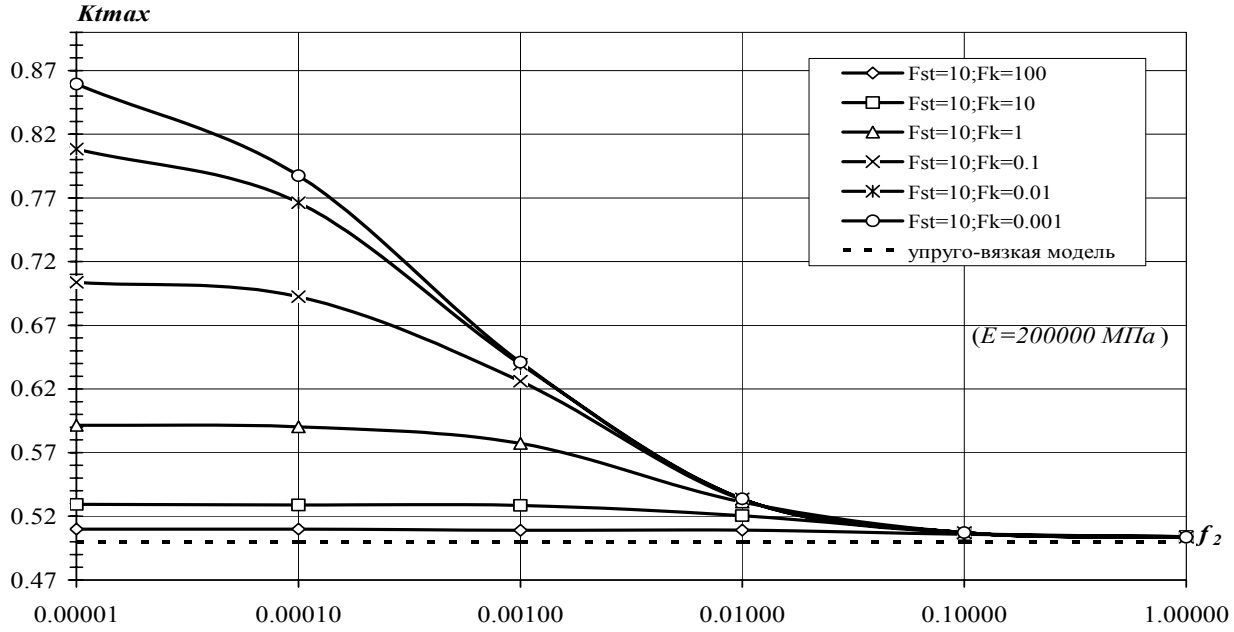


Рис. 5. Зависимость K_{tmax} от f_2

сывается отношением $K_{t\max} = t_{N\max} / t_K$ (где $t_{N\max}$ – период времени с начала контактного взаимодействия до момента, когда сила контактного взаимодействия достигает максимума; t_K – продолжительность удара). При увеличении коэффициента сдвига f_2 упруго-пластического блока модели параметр $K_{t\max}$ уменьшается и время наступления максимума $N_{\max}$ смещается к середине этапа ударного взаимодействия. При достижении величины $f_2 = 0{,}1K_1$ параметр $K_{t\max}$ практически стабилизируется на величине 0,5, соответствующей упругому и упруго-вязкому деформированию тел. При этом, с увеличением коэффициента жесткости упругого элемента K_2 упруго-пластического блока, влияние параметра f_2 уменьшается. При достижении величины $F_K = 10$ влияние f_2 становится малосущественным. Увеличение K_2 приводит к уменьшению параметра $K_{t\max}$. В качестве примера на рисунках 6,7 приводятся диаграммы, наглядно характеризующие влияние параметров упруго-пластического блока модели на закономерность изменения силы контактного взаимодействия N в течение удара $N = f(t)$. Диаграммы получены с помощью разработанной специальной исследовательской программы.

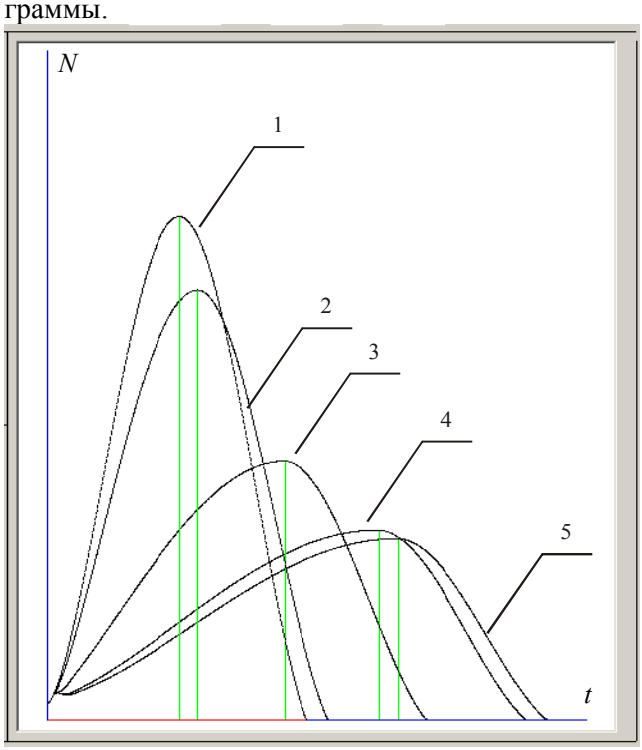


Рис. 6. Влияние коэффициента сдвига f_2 модели на силу контактного взаимодействия

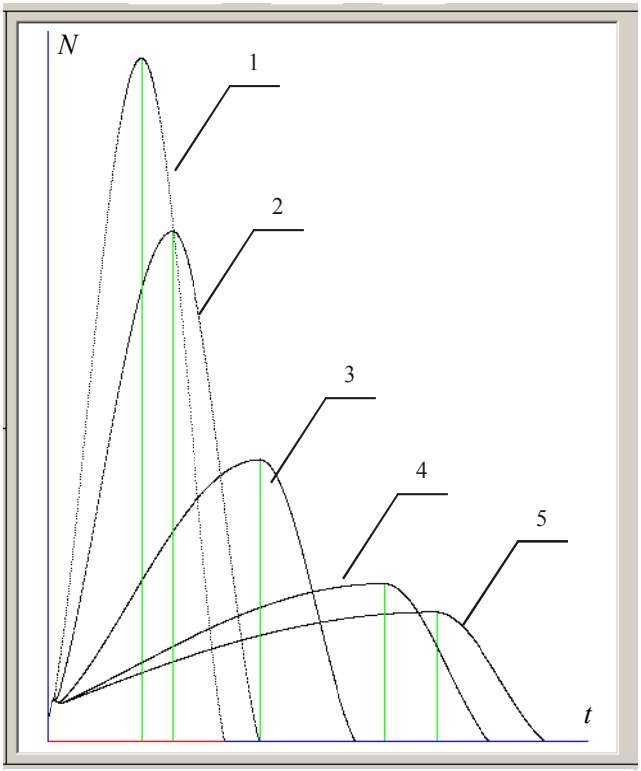


Рис. 7. Влияние коэффициента жесткости K_2 на силу контактного взаимодействия

Проведем краткий сравнительный анализ динамики ударного взаимодействия упруго-вязкой и упруго-вязко-пластичной моделей. Динамика ударного взаимодействия упруго-вязкой модели на графиках (рис. 2-5) характеризуется пунктирной линией, на диаграммах (рис. 6,7) – кривой 1. Величина и закономерность изменения силы сопротивления деформированию при ударном взаимодействии модели определяются упруго-вязкими параметрами модели, учитывающими упругие и вязкие (диссипативные) свойства материала, проявляющиеся при ударном взаимодействии тел.

Включение в модель упруго-пластического блока существенно расширяет возможности исходной упруго-вязкой модели, повышает достоверность моделирования процесса упруго-пластического взаимодействия тел. Путем изменения численных значений параметров упруго-пластического блока модели появляется возможность в широком диапазоне влиять на закономерность изменения силы сопротивления деформированию модели в упруго-пластической зоне деформаций.

Как показали результаты проведенных численных экспериментов, с увеличением пластичности материала сила ударного взаимодействия уменьшается, увеличивается время удара (кривые 1-5 на рис. 6,7), что характерно для упруго-пластичекого взаимодействия тел. Поэтому адаптация упруго-

вязко-пластичной модели к условиям упруго-пластического удара может быть выполнена на более высоком качественном уровне, что позволит повысить достоверность численных экспериментов по исследованию процессов ударного взаимодействия тел.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Лапшин В. Л., Демаков Е. И. Упруго-вязко-пластичная механореологическая модель для оценки упруго-вязкий свойств минералов при моделировании процессов вибросепарации // Механика – XXI веку : VI Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием : сб. докл. Братск, 2007. С. 67–71.
2. Лапшин В. Л., Ященко В. П., Рудых А. В. Исследовательская модель процесса ударного взаимодействия сферического тела с плоской поверхностью рудного материала // Вестн. ИРГТУ. 2006. № 2(26). С. 110–115.

Лузгин В.В.

УДК 621.865.8

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДИНАМИКИ ВЫДВИЖНОГО ЗВЕНА МАНИПУЛЯТОРА РОБОТОТЕХНИЧЕКОГО КОМПЛЕКСА

В пневматическом выдвижном звене манипулятора робототехнического комплекса (в дальнейшем, просто «звено») захват звена, удерживающий детали, перемещается под действием разности давлений в цилиндре слева и справа от поршня.

Введём следующие обозначения: F – площадь поршня, l – максимальное перемещение поршня, l_{ho} и l_{do} – начальные объёмы камеры и соединительных трубок; f – площадь соприкосновения штока с направляющими цилиндра; δ – радиальный зазор между штоком и поверхностью отверстий направляющих втулок. Учитывая малое значение δ считаем, что сила трения в направляющих подчиняется закону вязкого трения Ньютона и пропорциональна градиенту скорости. Коэффициент динамической вязкости μ соответствует смазке Литол-24 при температуре 20 ºС.

При принятых условиях и особенностях конструкции звена, уравнение динамики рабочего цикла подвижной части звена может быть записано в виде

$$F \cdot [P_h(x) - P_d(x)] - \frac{f \cdot \mu}{\delta} \cdot \frac{dx}{dt} = M \cdot \frac{d^2 x}{dt^2}, \quad (1)$$

где x – перемещение поршня; $P_h(x)$ и $P_d(x)$ – давления, соответственно, слева и справа от поршня; M – масса подвижной части звена.

Давления $P_h(x)$ и $P_d(x)$ могут быть определены по формулам

$$P_h(x) = \frac{R \cdot T \cdot (m_{ho} + \int G_h(x) \cdot dt)}{F \cdot (l_{ho} + x)},$$

$$P_d(x) = \frac{R \cdot T \cdot (m_{do} - \int G_d(x) \cdot dt)}{F \cdot (l + l_{do} - x)},$$

где R – газовая постоянная воздуха; T – температура воздуха; m_{ho} и m_{do}, соответственно, массы воздуха слева и справа от поршня; G_h и G_d – расходы воздуха, соответственно в левой и правой полостях.

Расходы воздуха слева и справа от поршня, в соответствии с законами адиабатного течения идеального газа в канале с известной площадью, можно определить по формулам:
для сверхзвукового течения –

$$G_h = f_h \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}} \cdot P_k \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot k}{k+1} \cdot \frac{1}{R \cdot T}}; \quad (2)$$

для дозвукового течения –

$$G_d(x) = f_d \cdot P_d(x) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot k}{k-1} \cdot \frac{1}{R \cdot T}} \times \sqrt{\left(\frac{P_o}{P_d(x)}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_o}{P_d(x)}\right)^{\frac{k+1}{k}}}, \quad (3)$$

где k – показатель адиабаты; f_d и f_h – площади сопловых сечений слева и справа; P_o – атмосферное давление.

Уравнение (3) соответствует дозвуковому режиму течения, при котором $G_d(x)$ зависит от давления в полости низкого давления. Поскольку уравнение (2) определяет сверхзвуковое течение, то расход G_h не зависит от давления в полости высокого давления, следовательно, от координаты x.

Соответственно, уравнение динамики торможения подвижной части звена может быть представлено в виде

$$F \cdot \left[P_h(x) - P_d(x)\right] - \frac{f \cdot \mu}{\delta} \cdot \frac{dx}{dt} - c \cdot x = M \cdot \frac{d^2 x}{dt^2}, \quad (4)$$

где c – коэффициент жёсткости пружины демпфера.

Таким образом, уравнения (1),(4) являются нелинейными интегро-дифференциальными уравнениями. Решение уравнений (1),(4), в конечных разностях, представлено в виде графиков перемещения $x(t)$, скорости $v(t)$ и ускорения $a(t)$ на рис. 1 и 2, где точки экспериментально полученного перемещения обозначены квадратами.

Степень идентичности экспериментальных и расчётных графиков оценивалась по суммарной относительной погрешности

$$S = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left| x_э(t_i) - x_p(t_i) \right|}{\sum_{i=1}^{n} x_p(t_i)} \cdot 100\%$$

и составила 3 %.

При восстановлении дифференциальных уравнений (1) и (4) по экспериментальным графикам перемещения $x(t)$ методами первичной и вторичной идентификаций [1, 2] при известных и неизменных значениях f и μ определяются коэффициенты этих уравнений $\frac{f \cdot \mu}{\delta}$ и c. При известных значениях f и μ определяется δ. Таким образом, по результатам восстановления дифференциальных уравнений формируется диагноз состояний штока, поверхности отверстий направляющих втулок и пружин демпфера. На основании анализа значений этих коэффициентов, решений уравнений (рис. 1, 2) и зависимостей давлений $P_h(x)$ и $P_d(x)$ (см. рис. 3) формируется диагноз состояния звена.

Динамика полного цикла движения звена (рабочий ход, торможение, возврат в исходное положение) с учётом транспортного (чистого) запаздывания может быть описана нестационарным нелинейным интегро-дифференциальным уравнением с запаздывающим аргументом, что позволит на основании восстановления этого уравнения формировать более глубокий и достоверный диагноз состояния звена.

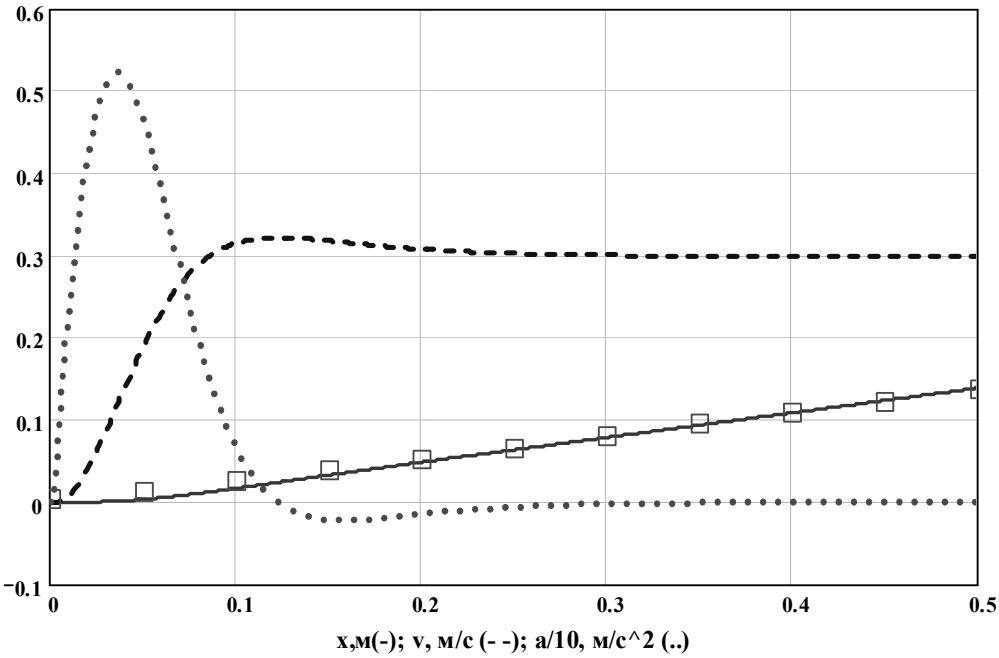


Рис. 1. Графики перемещения, скорости и ускорения рабочего цикла подвижной части звена от времени

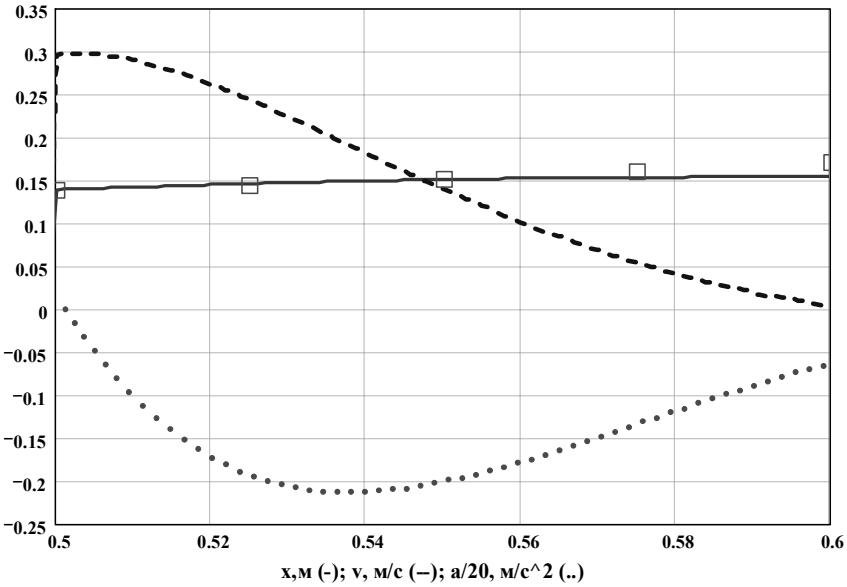


Рис. 2. Графики зависимостей перемещения, скорости и ускорения режима торможения

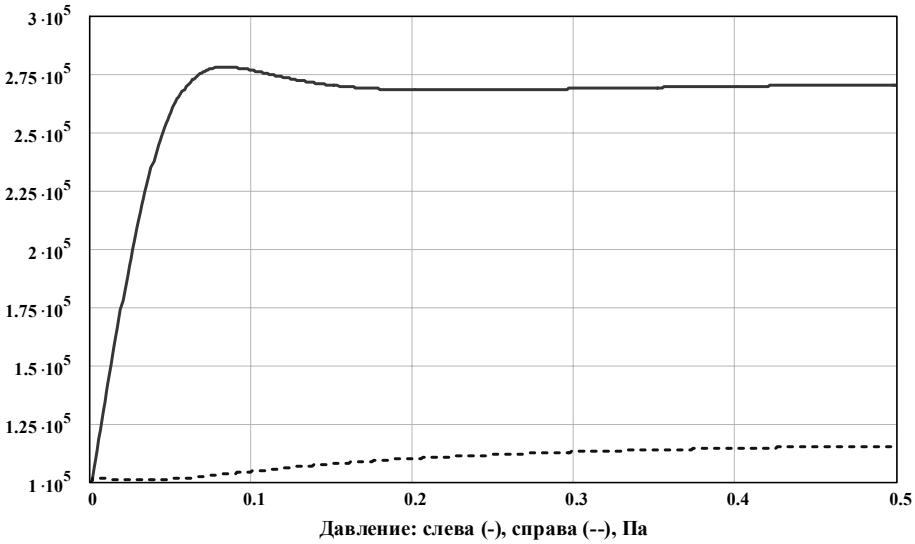


Рис. 3. Зависимость давления в полостях высокого и низкого давлений рабочего цикла подвижной части звена от времени

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Лузгин В. В., Колтыгин Д. С. Метод идентификации и диагностики аналоговых объектов // Информационные технологии и проблемы математического моделирования сложных систем. Иркутск : ИрГУПС, 2004. Вып. 1. С. 23–30.
2. Лузгин В. В., Колтыгин Д. С., Патрусова А. М. Вторичная идентификация (VtorId v1.00) // Авторское свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. N2003612203 ; 25.09.2003.

Пекарь К.А., Руш Е.А., Халиулин А.К. УДК 66.0

ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ ОДНОВРЕМЕННОЙ ПЕРЕРАБОТКИ СЕРОСОДЕРЖАЩИХ И ХЛОРОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

Актуальность переработки отходов промышленного производства приобретает, к сожалению, все большую остроту, поскольку даже по самым оптимистическим представлениям не более 10 % добываемого сырья превращается в конечную продукцию. Остальное переходит в отходы, оказывающие в той или иной степени негативное воздействие на окружающую природную среду. В представленном сообщении анализируются возможности совместной переработки отходов промышленного хлорорганического синтеза, а так же серосодержащих отходов нефтехимии в целях дальнейшего их использования в различных отраслях промышленности, например, в качестве сорбентов для извлечения тяжелых металлов из сточных вод, в технологии производства строительных материалов, антикоррозионных покрытий, пластиков.

Хлорорганические соединения широко используются в качестве мономеров в синтезе полимерных материалов (винилхлорид, эпихлоргидрин, винилиденхлорид, хлоропрен), растворителей, полупродуктов в синтезе красителей и лекарств и т.п. Их производство в мировом масштабе составляет десятки миллионов тонн в год. Вследствие многостадийности и недостаточной селективности используемых технологических процессов ежегодно в мире образуется около 2 млн. т отходов, являющихся сложными смесями хлорорганических соединений, включающих вещества первого второго классов опасности.

Основным методом переработки подобных отходов ранее являлся метод хлоролиза (исчерпывающего хлорирования) с получением четыреххлористого углерода (ЧХУ). Однако после присоединения нашей страны к Монреальскому протоколу об охране озонового слоя атмосферы Земли производство самого ЧХУ и фторхлорметанов (фреонов, или хладонов) на основе ЧХУ было запрещено.

Поэтому, в настоящее время как в нашей стране, так и в мировой практике смеси хлорорганических соединений отправляются либо на огневое обезвреживание, либо на хранение в подземные горизонты. Оба эти варианта представляют существенную опасность для окружающей среды и допустимы только в качестве временных вариантов [1, 2].

Для серосодержащих отходов ситуация принципиально отличная. Существует масса методов, широко использующихся на практике, которые позволяют извлечь диоксид серы и сероводород из отходящих газов или из углеводородного сырья, что, в свою очередь, приводит к получению серной кислоты, элементной (газовой) серы, сульфата аммония, гипса. Однако спрос на эти продукты намного ниже предложения. Известны предложения [1, 3], позволяющие обеспечить одновременную переработку хлорорганических и серосодержащих отходов в результате воздействия на смесь хлорорганических отходов полисульфидом натрия. Сущностью протекающего процесса является совместная интерсополиконденсация органических полихлоридов с полисульфидом натрия:

$$n\ RCl_x + n\ Na_2S_m \rightarrow [-\ RCl_{x-2} - S_m -\ ]_n + 2n\ NaCl.$$

Низкомолекулярным со-продуктом является хлорид натрия. Лимитирующим фактором является содержание в смеси перерабатываемых отходов монохлорзамещенных соединений. В случае, если содержание указанных примесей не превышает 10 %, происходит образование серосодержащих полимерных продуктов в виде твердого порошка или резиноподобной крошки.

Оба указанных варианта предполагают генерирование полисульфида натрия взаимодействием раствора едкого натрия с элементной (газовой) серой. При этом наряду с полисульфидом (обычно тетрасульфидом) неизбежно образуется тиосульфат натрия:

$$10S + 6NaOH \rightarrow Na_2S_4 + Na_2S_2O_3 + 3H_2O.$$

Таким образом 20 % используемой серы не участвует в реакции, а увеличивает содержание солей в сточных водах данного процесса.

Устранить образование окисленных форм серы можно введением в реакционную систему гидразингидрата [4]. Подавление образования тиосульфата натрия введением в реакционную систему гидразингидрата – высоко токсичного (1-й класс опасности) и дорогого продукта приводит к существенному снижению экологической безопасности, а также рентабельности процесса переработки отходов. Замена едкого натра на технический сульфид натрия позволяет исключить потери серы и, соответственно, поступление тиосульфата натрия в солевые стоки при незначительном (5-7 %) увеличении расходов на исходные реагенты.

Кроме того, применение гидразингидрата полностью исключает замыкание производственного цикла подачей хлористого натрия на электролиз. Присутствие даже следов соединений азота в растворе хлорида натрия, подаваемого на электролиз, совершенно неприемлемо, вследствие возможности образования трихлорида азота, который относится к наиболее опасным взрывчатым веществам (I класс опасности). Однако замыкание цикла при электролизе хлорида натрия будет малореальным и при наличии в его составе окисленных форм серы (сульфита и тиосульфата натрия). Исключить появление окисленных форм серы возможно при использовании другого варианта генерирования полисульфида натрия. В этом случае возможно использовать реакцию с сульфидом натрия:

$$Na_2S + (m-1)\,S \rightarrow Na_2S_m.$$

Наиболее целесообразно использовать сульфид натрия, образующийся при щелочной абсорбции газов нефтехимических производств (например, пиролиза), проводимой для удаления сероводорода из углеводородного сырья.

В зависимости от используемых хлорорганических отходов, получаемые продукты имеют различное строение [5]. Так, получаемые серосодержащие продукты на основе дихлорпропановой фракции отходов производства эпихлоргидрина (рис. 1) представляют собой каучукоподобные вещества коричневого и темно-коричневого цвета и, предположительно, имеют линейное строение, что подтверждается наличием у них термопластичности:

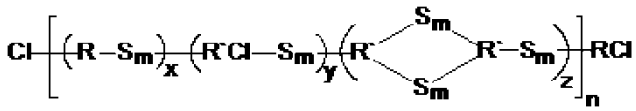


Рис. 1. Серосодержащие продукты на основе дихлорпропановой фракции отходов производства эпихлоргидрина, где R: –CH_2–CH(CH_3)–; –CH=CH(CH_3)–; R`: –CH_2–CH–CH_2–.

Серосодержащие продукты на основе трихлорпропановой и трихлорэтановой фракции (рис. 2, 3) имеют отличное строение и представляют собой порошки или смолистые вещества от темно-коричневого до черного цвета и, предположительно, имеют циклоцепное строение, что подтверждается способностью к переходу в вязкотекучее состояние:

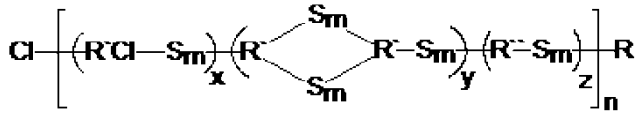


Рис. 2. Серосодержащие продукты на основе трихлорпропановой фракции отходов производства эпихлоргидрина, где R: –CH_2–CH(OH)–CH_2(OH)–; R`: –CH_2–CH–CH_2–; R``:–CH_2–CH(OH)–CH_2–, –CH(OH)–CH_2–CH_2–;

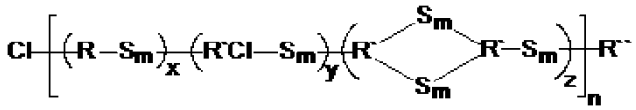


Рис. 3. Серосодержащие продукты на основе трихлорэтановой фракции отходов производства винилхлорида, где R: –CH_2–CH_2–, –CH_2–CH=CH–CH_2–, –CCl=CH–CH_2–CH_2–, –CCl=CCl–CCl=CCl–, –CCl=CCl–, –$(CH_2)_2$–O–$(CH_2)_2$–; R`: –CH–CH_2–, –CH–CHCl–, –CCl–CCl_2, –CH_2–CH–CH_2–CH_2–; R``: –$CHCl_2$, –C_6H_5, –C_6H_4Cl.

Процесс осернения отличается низкой энергоемкостью, реализуется на обычном типовом химическом оборудовании, отличается высокой технологической гибкостью, то есть позволяет перерабатывать отходы различного состава, при незначительной корректировке технологических параметров процесса. Предлагаемый способ может также быть использован для переработки отходов, содержащих значимые количества хлорароматических производных, для которых в настоящее время рекомендуется огневое обезвреживание с помощью ракетных двигателей. Изменение условий осернения смеси хлорорганических соединений (в зависимости от ее состава) позволяет вовлечь в реакцию и, тем самым, связать в полимерные структуры практически любые хлорорганические соединения. При этом устраняется их токсичность.

Процесс осернения хлорорганических отходов представлен на рис. 4 и включает следующие стадии:

– загрузка раствора едкого натра и воды в реактор;

– загрузка порошкообразной серы;

– получение полисульфида натрия;

– загрузка кубовых остатков производства эпихлоргидрина;

– осернение кубовых остатков производства эпихлоргидрина;

– разбавление реакционной массы водой и нейтрализация ее соляной кислотой;

– дегазация реакционной массы от сероводорода;

– улавливание и нейтрализация сероводорода раствором едкого натра с последующим использованием абсорбционного раствора для получения полисульфида натрия;

– выделение серосодержащих полимерных продуктов из водной фазы;

– сушка серосодержащих полимерных продуктов.

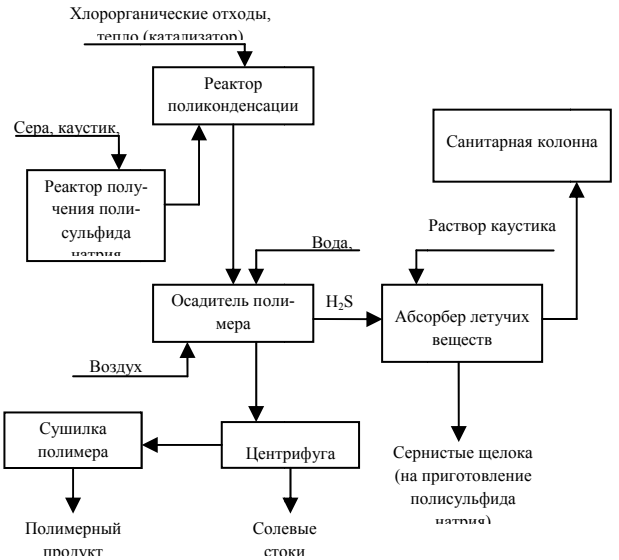


Рис. 4. Блок-схема установки переработки хлорорганических отходов

Серосодержащие полимерные продукты совместимы с ПВХ, эпоксидными композициями, минеральными наполнителями и битумами. Введение их в эпоксидные компаунды или пластикаты ПВХ повышает устойчивость материала к агрессивным средам (25 % азотная кислота) и снижает способность пластмассы к горению. Они ускоряют отверждение эпоксидных композиций, снижая расход традиционного отвердителя – полиэтиленполиамина, отличающегося высокой токсичностью, вплоть до полного исключения.

Для эпоксидных компаундов наиболее перспективны полимерные продукты с наименьшей температурой размягчения (60-100 °С). Более теплостойкие полимерные продукты предпочтительны для получения кислотостойкого пластиката (на базе ПВХ).

Введение серосодержащих полимеров в битумы повышает теплостойкость материала (на 20 °С) без увеличения хрупкости.

Полимерные продукты, полученные осернением хлорорганических отходов, эффективно удаляют ртуть и ее соединения из водных и газовых сред. Емкость этих полимеров составляет 150-680 мг ртути на 1 г полимера. Результаты получены как на модельных системах (водные растворы нитрата ртути или сулемы), так и при очистке проб локального стока электролиза раствора хлорида натрия (на ртутном катоде).

В настоящее время нами ведутся исследования, направленные на поиск оптимальных режимов сорбции ионов меди и цинка из промышленных сточных вод предприятий железнодорожного транспорта. Эта задача представляется весьма актуальной, ввиду того, что на современном этапе эксплуатации локомотивных и вагонных депо Восточно-Сибирской железной дороги, имеющих в своем составе гальванические цеха, очень остро стоит проблема очистки металлсодержащих сточных вод до требуемых нормативов качества. Следует особо отметить, что ряд предприятий Восточно-Сибирской железной дороги направляет сточные воды, прошедшие цикл очистки, на сброс в водные объекты, относящиеся к бассейну р. Ангары – водоема первой категории водопользования. Как показал анализ качества сбросных сточных вод, они могут быть отнесены к категории недостаточно очищенных, так как, прежде всего, по остаточной концентрации меди, никеля, цинка, хрома значительно превышают показатели ПДК и ПДС, что, соответственно, вынуждает предприятия осуществлять платежи за сверхнормативные сбросы [6]. Причиной этого, в большинстве случаев, является моральный и физический износ оборудования, не проведенная в необходимый момент реконструкция или модернизация очистных систем. Поэтому, совершенствование технологий очистки промышленных сточных вод от ионов тяжелых металлов является первоочередной задачей для объектов Восточно-Сибирской железной дороги, решение которой приведет к оптимизации режимов работы очистных систем и предотвращению загрязнения поверхностных вод в бассейне реки Ангары.

Таким образом, процесс осернения позволяет утилизировать как отходы промышленности хлорорганического синтеза, так и серосодержащие отходы нефтехимии с образованием полимерных продуктов, обладающих комплексом практически

полезных свойств. Наиболее перспективными направлениями использования полученных серосодержащих полимерных продуктов представляются следующие:

− сорбенты ртути (и других тяжелых металлов);

− серополимерный бетон и строительные изделия на его основе;

− дорожные асфальтобетонные покрытия;

− антикоррозионные покрытия металлов;

− кислотостойкие пластики пониженной горючести.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Переработка отходов производства эпихлоргидрина в сероорганические продукты и материалы / Воронков М. Г., Корчевин Н. А., Руссавская Н. В., Силинская Я. Н., Томин В. П., Дерягина Э. Н. // Химия в интересах устойчивого развития. 2001. № 4. Т. 9 С. 541–546.
2. Огневое обезвреживание отходов хлорорганических производств / А. С. Мальцева, Ю. А. Фролов, А. И. Розловский // Журн. Всесоюзн. хим. о-ва им. Д. И. Менделеева. 1982. Т. 27., № 1. С. 67–72.
3. Промышленная переработка хлор- и серосодержащих отходов / Воронков М. Г., Татарова Л. А., Трофимова К. С., Верхозина Е. И., Халиуллин А. К. // Химия в интересах устойчивого развития. 2001. Т. 9., № 3. С. 393–403.
4. Использование отходов производства в композициях для лубрикации рельсов / Н. С. Назаров, Г. Я. Якимова, Н. В. Руссавская, С. В.Ясько, В. Е. Гозбенко, Н. А. Корчевин. – Иркутск : Изд-во ИГУ, 2003. 244 с.
5. Шевченко Е. И., Салауров В. Н., Халиуллин А. К. Термостойкость и строение полисульфидных полимеров, полученных на основе хлорорганических отходов // Пластические массы. 2006. № 8. С. 30–32.
6. Руш Е. А. Совершенствование технологий сорбционной очистки сточных вод от тяжелых металлов для предприятий Ангарской промышленной зоны. Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2003. 195 с.

Кобзов Д.Ю., Кобзов А.Ю., Лханаг Д.

УДК 621.225.2.001.24

О ПОТЕРЯХ НА ТРЕНИЕ В ГИДРОЦИЛИНДРАХ МАШИН

Известно, что повышенное трение в узлах машин приводит к значительным материальным потерям. В некоторых случаях на преодоление этого сопротивления затрачивается 80% потребляемой энергии [1]. Низкие КПД многих машин обусловлены, главным образов, большими потерями на трение.

В гидроцилиндрах, согласно работе [2], основными источниками трения являются уплотнители герметизируемых подвижных сопряжений. По-видимому, этого же мнения придерживаются и авторы работы [3], утверждающие, что сила F_{hc}^{fr} трения, снижающая номинальное толкающее (тянущее) усилие F_{hc} гидроцилиндра, зависят от типа уплотнителя, чистоты герметизируемой поверхности, температуры и давления. В зависимости от этих факторов установлен диапазон изменения механического КПД гидроцилиндра, составляющий 0,85...0,95. При этом аналитически фактическое усилие F_{hc}^{f} в этих и других работах, в частности [4], не представлено. Последнее можно объяснить тем, что полученные ранее и приведенные в работах [5, 6] варианты выражения для нахождения усилия F_{hc}^{f} гидроцилиндра, приведенные после согласования к виду

$$F_{hc}^{f} = \left(F_{hc} - F_{hc}^{fr}\right) = F_{hc} - \left(R_{br}^{s} + R_{lp}^{s}\right) - R_{hc}^{f}, \quad (1)$$

представляются в достаточной степени полными и законченными. В (1) R_{br}^{s} и R_{lp}^{s} - силы сопротивления перемещению штока-поршня соответственно штоковых и поршневых уплотнителей [9,10]; R_{hc}^{f} - сила сопротивления рабочей жидкости, вытекающей из нерабочей полости, перемещению поршня [5].

Между тем, это не совсем так. Думается, комплекс входящих в его правую часть сил, являющийся ныне более необходимым, нежели достаточным, следует дополнить силами R_{br}^{d} и R_{lp}^{d} сопротивления перемещению штока-поршня от действия реакции R_{br} и R_{lp}, возникающих соответственно в сопряжениях "шток-направляющая втулка" и "поршень-гильза" гидроцилиндра. Аналитически это можно представить следующим образом

$$F_{hc}^{f} = \left(F_{hc} - F_{hc}^{fr}\right) = F_{hc} - \left(R_{br}^{s} + R_{lp}^{s}\right) - \\ -R_{hc}^{f} - \left(R_{br}^{d} + R_{lp}^{d}\right). \quad (2)$$

Такое дополнение согласуется с режимом нагружения гидроцилиндра и отражает схемы расположения его длинномерных элементов и контакта жестких элементов, образующих герметизируемые сопряжения, в процессе функционирования, впервые раскрытыми в работе [5], развитыми в работе [7] и значительно усовершенствованными в работе [9].

Расписав в соответствии с известной расчетной схемой нагружения гидроцилиндра [4, 5, 9] параметры F_{hc} [2-6], R_{hc}^{f} [5], R_{br}^{s} и R_{lp}^{s} [4-6, 8, 9] и представив в соответствии с законом Амонтона [1, 8, 11] в первом приближении силы R_{br}^{d} и R_{lp}^{d}, окончательно запишем выражение для получения фактического усилия F_{hc}^{f} на штоке гидроцилиндра двустороннего действия с односторонним штоком при подаче рабочей жидкости в его поршневую полость (случай наибольших значений сил R_{br}^{d} и R_{lp}^{d} [9]) в виде

$$F_{hc}^{f} = \left(F_{hc} - F_{hc}^{fr}\right) = \frac{1}{4} p D_p^2 P_{hc} - \\ -pD_p l_{lp}^{s'} k_{lp}^{fs}\left(P_{hc} + P_{hc}^{'} + mP_{lp}^{s''}\right) - \\ -pD_r l_{br}^{s'} k_{br}^{fs}\left(P_{hc}^{'} + nP_{hc}^{s''}\right) + tl_{br}^{r'} k_{br}^{fr} P_{br}^{r''} - \\ -\frac{1}{4} p\left(D_p^2 - D_r^2\right) P_{hc}^{'} - k_{br}^{fd} R_{br} - k_{lp}^{fd} R_{lp}. \quad (3)$$

Здесь: D_p, D_r - диаметры поршня и штока; k_{br}^{fs}, k_{lp}^{fs}, k_{br}^{fr} - коэффициенты трения соответственно штоковых и поршневых герметизирующих манжет и штоковых уплотнительных колец по уплотняемой поверхности [4, 6, 8]; k_{br}^{fd}, k_{lp}^{fd} - коэффициенты трения жестких элементов соответственно штоковых и поршневых сопряжений гидроцилиндра [11]; $l_{br}^{s'}$, $l_{lp}^{s'}$, $l_{br}^{r'}$ - соответственно длины рабочей части штоковых и поршневых манжет [4, 5] и контактной поверхности штоковых колец [4]; m, n - соответственно количество поршневых и штоковых герметизирующих манжет [2-5, 10]; P_{hc}, $P_{hc}^{'}$ - давление гидравлической жидкости соответственно в рабочей и нерабочей полостях гидроцилиндра [3-5]; $P_{br}^{s''}$, $P_{lp}^{s''}$, $P_{br}^{r''}$ - монтажное контактное давление соответственно штоковых и поршневых манжет и штоковых уплотнительных колец [4]; R_{br}, R_{lp} - соответственно реакции в сопряжениях "шток-направляющая втулка" и "поршень-гильза" гидроцилиндра; t - количество штоковых герметизирующих и пылезащитных колец [2, 5].

В соответствии с положениями работы [9] реакции R_{br} и R_{lp}, в сопряжениях гидроцилиндра должны находиться следующим образом

$$R_{br} = R_{br}^{'} + R_{br}^{''}; \quad (4)$$

$$R_{lp} = R_{lp}^{'} + R_{lp}^{''}, \quad (5)$$

где: $R_{br}^{'}$, $R_{lp}^{'}$ - составляющие от поперечной и $R_{br}^{''}$, $R_{lp}^{''}$ - составляющие от продольной нагрузки.

Выражения для получения значений первых составляющих $R_{br}^{'}$ и $R_{lp}^{'}$ реакций R_{br} и R_{lp}, характеризующих силовое взаимодействие жестких элементов трущихся сопряжений гидроцилиндра только при его поперечном нагружении, то есть в состоянии покоя, для "пустого" гидроцилиндра представлены в работе [9], а с учетом веса рабочей жидкости, находящейся в его полостях, имеют вид:

$$R_{br}^{'} = \left[R_1\left(l_1 + l_2\right) - \frac{1}{2} q_1 \left(l_1 + l_2\right)^2 \cos\theta\right] \times \\ \times\left[\left(l_1 + l_2\right) - \left(l_0 + z\right)\right]^{-1}; \quad (6)$$

$$R_{lp}^{'} = \left\langle R_1\left(l_0 + z\right) + \frac{1}{2} q_1 \left\{\left[\left(l_1 + l_2\right) - \left(l_0 + z\right)\right]^2 - \left(l_0 + z\right)^2\right\} \cos\theta\right\rangle \times \\ \times\left[\left(l_1 + l_2\right) - \left(l_0 + z\right)\right]^{-1}. \quad (7)$$

Здесь R_1 - реакция в штоковом опорном шарнире гидроцилиндра, определяемая для нашего случая из выражения

$$R_1 = \left\langle q_1\left(l_1 + l_2\right)\left[l_3 + \left(l_0 + z\right) - \frac{1}{2}\left(l_1 + l_2\right) - l_6\right] + q_2\left(\frac{1}{2} l_3^2 - l_3 l_6\right) + \\ + q_3\left[l_2 - \left(l_0 + z\right) - l_4\right]\left\{l_3 - l_4 - l_6 - \frac{1}{2}\left[l_2 - \left(l_0 + z\right) - l_4\right]\right\} + \\ + \frac{1}{2} q_4 \left\{\left[l_3 + \left(l_0 + z\right) - \left(l_1 + l_2\right) - l_6\right]^2 - \left(l_6 - l_7\right)^2\right\} \times \\ \times\left[l_3 + \left(l_0 + z\right) - l_6\right]\right\rangle^{-1} \cdot \cos\theta, \quad (8)$$

где: l_1 - l_7 - длины соответственно поршня, штока, корпуса в сборе, направляющей втулки, а также расстояние от наружной и внутренней стенок

днища корпуса до оси его опоры в зависимости от вида исполнения гидроцилиндра; для обычного исполнения $l_6 = 0$; l_0 - минимальная длина выступающей из корпуса части штока; z - ход штока; q_1 - q_4 - распределенная нагрузка соответственно от весов штока и корпуса гидроцилиндра в сборе, а также рабочей жидкости соответственно в его штоковой и поршневой полостях; Θ - угол наклона гидроцилиндра к поверхности тяготения [9].

Величины вторых составляющих R''_{br} и R''_{lp} реакций R_{br} и R_{lp} с достаточной точностью могут быть найдены из выражений:

при $x = (l_1 + l_2)$ –

$$R''_{br} = F_{hc}\left[y_T(x) + e_{bb}(x)\right]\left[(l_1 + l_2) - (l_0 + z)\right]^{-1}; \quad (9)$$

при $x = (l_0 + z)$ –

$$R''_{lp} = F_{hc}\left[y_T(x) + e_{bb}(x)\right]\left[(l_1 + l_2) - (l_0 + z)\right]^{-1}, \quad (10)$$

где: $e_{bb}(x)$ - функция распределения по длине гидроцилиндра составляющей плеча приложения к нему продольного сжимающего усилия F_{hc} от эксцентриситета приложения последнего в опорных подшипниках проушин (цапф) гидроцилиндра [5, 9]; $y_T(x)$ - функция распределения по длине гидроцилиндра полного его прогиба в результате продольно-поперечного нагружения в процессе функционирования [4, 8, 9].

В формулах (9) и (10) $y_T(x)$ - полный прогиб гидроцилиндра, описывается выражением [12]

$$y_T(x) = y_\alpha(x) + y_\beta(x) + y_\gamma(x) + y_\delta(x) + \\ + y_Q(x) + y_P(x) + y_R(x), \quad (11)$$

где $y_б(x)$ - прогиб гидроцилиндра из-за зазоров в герметизирующих сопряжениях «поршень-шток», следствием чего является возникающие у гидроцилиндра угловой несоосности; $y_в(x)$ - прогиб гидроцилиндра в результате возможного начального искривления его длинномерных элементов; $y_г(x)$ - прогиб гидроцилиндра вследствие эксплуатационного искривления его штока; $y_д(x)$ - прогиб гидроцилиндра в результате радиальной деформации под давлением его корпуса, что является причиной роста зазора в сопряжении «поршень-гильза»; $y_Q(x)$ - прогиб гидроцилиндра вследствие его поперечного нагружения, от веса длинномерных элементов гидроцилиндра в сборе, а для гидроцилиндров повышенного типоразмера – также веса рабочей жидкости в его поршневой и штоковой полостях; $y_P(x)$ - прогиб гидроцилиндра в результате его продольного сжимающего нагружения; $y_R(x)$ - прогиб гидроцилиндра в результате наличия силового поворота в его опорных элементах, что обусловлено наличием момента трения от фрикционного взаимодействия элементов опорных подшипников.

Параметр $e_{bb}(x)$ описывает эксцентриситет приложения в опорах гидроцилиндра продольного сжимающего усилия и его распределение по длине [13].

Подача рабочей жидкости в штоковую полость гидроцилиндра сопровождается его работой на растяжение. В этом случае перекос длинномерных элементов гидроцилиндра, имевший место ранее, почти исключается, что значительно облегчает работу сил гидродинамического центрирования поршня относительно гильзы и штока относительно направляющей втулки, В результате этого реакции R_{br} и R_{lp} становятся приблизительно равными нулю, что аналитически в отношении фактического усилия F^f_{hc} на штоке гидроцилиндра отражается следующим образом:

$$F^f_{hc} = \left(F_{hc} - F^{fr}_{hc}\right) = \frac{1}{4}\pi\left(D_p^2 - D_r^2\right)P_{hc} - \\ - \pi D_p l^{s'}_{lp} k^{fs}_{lp}\left(P'_{hc} + P_{hc} + mP^{s''}_{lp}\right) - \\ - \pi D_r\left[l^{s'}_{br} k^{fs}_{br}\left(P'_{hc} + nP^{s'}_{hc}\right) + tl^{r'}_{br} k^{fr}_{br} P^{r''}_{br}\right] - \frac{1}{4}\pi D_p^2 P'_{hc}.$$

В том и другом случаях F^{fr}_{hc} сила трения соответственно составляет:

$$F^{fr}_{hcp} = \pi D_p l^{s'}_{lp} k^{fs}_{lp}\left(P_{hc} + P'_{hc} + mP^{s''}_{lp}\right) + \\ + \pi D_r\left[l^{s'}_{br} k^{fs}_{br}\left(P'_{hc} + nP^{s''}_{br}\right) + tl^{r'}_{br} k^{fr}_{br} P^{r''}_{br}\right] + \\ + k^{fd}_{br} R_{br} + k^{fd}_{lp} R_{ld};$$

$$F^{fr}_{hcr} = \pi D_p l^{s'}_{lp} k^{fs}_{lp}\left(P'_{hc} + P_{hc} + mP^{s''}_{lp}\right) + \\ + \pi D_r\left[l^{s'}_{br} k^{fs}_{br}\left(P_{hc} + nP^{s''}_{br}\right) + tl^{r'}_{br} k^{fr}_{br} P^{r''}_{br}\right].$$

Численное их сравнение на данном этапе эволюции типоразмера гидроцилиндров, используемых в строительном и дорожном машиностроении с применением выражения (14) для гидроцилиндра двустороннего действия с односторонним штоком

$$F^{fr}_{hcp} - F^{fr}_{hcr} = k^{fd}_{br} R_{br} + \\ + k^{fd}_{lp} R_{lp} - pD_r l^{s'}_{br} k^{fs}_{br}\left(P_{hc} - P'_{hc}\right) \quad (14)$$

полностью подтверждает справедливость утверждения авторов работы [2] о том, что меньшим механическим КПД обладают гидроцилиндры с двусторонним штоком.

Однако утверждение, основанное, по всей видимости, на представлениях о малости реакций R_{br} и R_{lp}, на деле не столь очевидно. Так, по мере роста типоразмера гидроцилиндра упомянутая выше разность $\left(F_{hcp}^{fr} - F_{hcr}^{fr}\right)$, ныне отрицательная, в результате варьирования его основными параметрами может изменить свой знак. Эту точку, свойственную конкретной комбинации названных параметров гидроцилиндра при прочих известных условиях его функционирования, следует полагать объективной мерой целесообразности применения того или иного исполнения гидроцилиндра по механическому КПД.

В данном случае в качестве объективного критерия целесообразности можно использовать разность значении сил трения гидроцилиндров с односторонним F_{hco}^{fr} и с двусторонним F_{hct}^{fr} штоком, то есть

$$F_{hco}^{fr} - F_{hct}^{fr} = \left(F_{hcp}^{fr} + F_{hcr}^{fr}\right)_0 - 2\left(F_{hcr}^{fr}\right)_t . \qquad (15)$$

При этом вид исполнения гидроцилиндра устанавливается по знаку критерия: "меньше нуля" - гидроцилиндр с односторонним штоком; больше – наоборот.

С целью унификации критерия (15), повышения его достоверности и расширения границ применения он может быть дополнен слагаемыми, учитывающими гидравлические потери на входе в гидроцилиндр и выходе из него. Здесь не следует забывать о том, что операции с критериями обязательно должны сопровождаться предварительным согласованием требуемых выходных параметров сравниваемых гидроцилиндров с целью обеспечения их адекватности.

Таким образом, использование предлагаемого автором объективного критерия способствует оптимальному выбору вида исполнения существующих гидроцилиндров, определению их количества, установлению кинематических и гидравлических схем подключения, созданию перспективных гидроцилиндров с учетом их механического или гидромеханического КПД.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Гаркунов Д. Н. Триботехника. М. : Машиностроение, 1989. 328 с.
2. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы / Т. М. Башта, С. С.Руднев, Б. Б. Некрасов, О. В. Байбаков, Ю. Л. Кирилловский. М. : Машиностроение, 1982. 423 с.
3. Вильнер Я. М., Ковалев Я. Т., Некрасов Б. Б. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам / под ред. Б. Б. Некрасова. Минск : Вышэйш. шк., 1985. 382 с.
4. Абрамов Е. И., Колесниченко К. А. Маслов В. Т. Элементы гидропривода : справ. Киев : Техника, 1977. 224 с.
5. Марутов В. А., Павловский П. А. Гидроцилиндры. М. : Машиностроение, 1966. 170 с.
6. Осипов Л. Е. Гидравлика и гидравлические машины. М. : Лесн. пром-сть, 1965. 363 с.
7. Бедрин С. Ф. Расчеты гидроцилиндров на устойчивость и точность // Вестн. машиностроения. М., 1981. № 7. С. 32.
8. Кобзов Д. Ю., Решетников Л. Л. Методика поиска недельных значений диагностических параметров нагрузочной способности гидроцилиндров // Повышение эффективности использования машин в строительстве / ЛИСИ. Л., 1987. С. 118–120.
9. Кобзов Д. Ю. Диагностирование гидроцилиндров рабочего оборудования одноковшовых строительных экскаваторов : дис ...канд. техн. наук / Ленингр. инж.-строит. ин-т. – Л., 1987. – 345 с.
10. Goldoftas T. Cylinder for profit-making design // Hydraulics & Pneumatics. Cleveland. Ohio, USA, 1976. March, P I–32.
11. Крагельский И. В., Михин Н. М. Узлы трения машин : справ. М. : Машиностроение, 1984. 280 с.
12. Кобзов Д. Ю., Плешивцева С. В. Совершенствование конструкции привода ковша одноковшовых гидрофицированных и дорожных машин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2007. № 3 (15) С. 40–45.
13. Повышение эффективности привода ковша одноковшовых гидрофицированных строительных машин / Кобзов Д. Ю., Жмуров В. В. Плешивцева С. В., Трофимов А. А., Лханаг Д. // Тр. Брат. гос. ун-та. 2007. Т. 2. 321 с. (Естественные и инженерные науки – развитию регионов).

Туйгунова А.В.

УДК 621.311

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОДЕРЖАНИЯ ИЗОЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ КЛИМАТА НА ОСНОВЕ НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ

Введение. Транзит и передача потоков мощности невозможны без трансформации электроэнергии. Силовые трансформаторы (СТ)- наиболее ответственные и дорогостоящие элементы в системе тягового электроснабжения, определяющие ее надежность. Внезапный выход из строя трансформатора причиняет особенно большой ущерб, так как при этом убытки связаны не только с необходимостью восстановления трансформатора, но и, прежде всего, с перерывом в электроснабжении потребителей тяговой нагрузки и районного потребителя. На железных дорогах России в эксплуатации находится большое количество силовых трансформаторов, отработавших срок службы. Ресурс СТ определяет бумажная (целлюлозная) изоляция обмоток, наиболее подверженная процессам старения. Величина срока службы, равная 25 годам, установлена в соответствии с [1] в связи с тем, что за указанный период может произойти тепловой износ витковой бумажной изоляции обмоток. Значительное влияние на нее оказывают величина нагрузки трансформатора, эффективность системы охлаждения трансформатора, качество масла, тип защиты масла от окисления, наличие термосифонных фильтров, особенности конструкции, качество самой изоляции [2], климатические условия работы СТ.

В ближайшие годы по экономическим и техническим причинам не ожидается существенного обновления парка силовых трансформаторов, отработавших нормативный срок. В связи с этим все более актуальной становится проблема продления срока службы и оценка возможности дальнейшей эксплуатации такого электрооборудования в системах тягового электроснабжения. Для успешного решения данной проблемы важно выявить основные показатели предельного состояния СТ.

Основные показатели предельного состояния силовых трансформаторов. Предельным состоянием электрооборудования, определяющим его ресурсные показатели, считается состояние, при котором дальнейшая его эксплуатация становится экономически невыгодной или несовместимой с требованиями по обеспечению необходимого уровня безопасности оборудования системы тягового электроснабжения. Основными элементами силового трансформатора, определяющими его предельное состояние, являются магнитопровод (сердечник) и обмотки. Серьезные неисправности трансформаторов возникают при повреждении магнитопровода вследствие нарушения изоляции между отдельными листами электротехнической стали и стягивающими их болтами, ослабления прессовки, замыкания между листами стали, приводящие к локальному повышенному нагреву из-за увеличения потерь электроэнергии в сердечнике. Эти дефекты выявляются увеличением содержания растворенных в масле газов, потерь холостого хода, возрастанием шума. При повреждении межлистовой изоляции и, как следствие, объединении вихревых токов могут выгореть пластины электротехнической стали (явление, называемое «пожар стали»); дефект устраняется заменой выгоревших пластин. Признание состояния сердечника предельным всегда означает и предельное состояние трансформатора в целом, т.е. необходимость его замены, однако в процессе эксплуатации такие повреждения происходят относительно редко.

Показатели оценки состояния изоляции обмоток. Обмотки - наиболее уязвимая часть трансформатора, повреждение их изоляции созда-

ет опасность короткого замыкания. Основным критерием общей оценки предельного состояния силовых трансформаторов тяговых подстанций является техническое состояние обмоток. Важнейшими показателями ее оценки являются: а) тепловой износ витковой изоляции; б) динамический износ обмоток СТ - степень механического закрепления обмоток, в частности, отсутствие опасных деформаций, вызванных большими токами сквозных коротких замыканий; в) влияние климатических условий на надежность изоляции обмоток трансформаторов. Ресурс бумажной изоляции обмоток считается исчерпанным при снижении степени полимеризации бумажной изоляции до 250 единиц. Степень механического закрепления обмоток определяется на основе тщательного измерения сопротивления короткого замыкания Z_K трансформатора. Значения Z_K, измеренные в процессе эксплуатации и при капитальном ремонте, не должны превышать исходные более чем на 3% [3]. Химические процессы, происходящие в трансформаторном масле из-за наличия в нем посторонних примесей: влаги (недостаточная сушка обмоток после ремонта, увлажнение охлаждающего масла), остатка растворителя пропиточного лака, воздуха или газов, посторонних механических примесей, значительно снижают электрическую прочность изоляции обмоток. При повышенном нагреве внутренних частей трансформатора химические процессы становятся более интенсивными и их отрицательное воздействие на изоляцию резко возрастает. Продукты старения трансформаторного масла, откладываясь на поверхности изоляции, ускоряют процесс ее деградации, снижают ее изоляционные характеристики и затрудняют отвод тепла. Силовые трансформаторы тяговых подстанций работают в различных климатических условиях: в сутки перепад температуры в весенне-осенний период составляет от минус 35 до плюс 15 градусов Цельсия.

Наиболее частое повреждение обмоток СТ, возникающее из-за вибрации сердечника, - отгорание их соединений с вводом; дефект устраняется при вскрытии трансформатора.

Повреждаемость СТ существенно зависит от срока эксплуатации трансформатора. В первые годы эксплуатации проявляются дефекты изготовления оборудования. Некоторая стабильность работы СТ отмечается в течение следующих 3-15 лет, что обусловлено небольшой интенсивностью процессов старения. При эксплуатации трансформаторов более 25-30 лет начинает возрастать их повреждаемость, это связано с повышением процесса износа СТ [3].

Методы диагностики силовых трансформаторов. Под диагностикой понимается система мероприятий, проводимых с помощью различных технических средств для проверки и оценки состояния трансформатора. Контроль за состоянием СТ носит комплексный характер. Для диагностики силовых маслонаполненных трансформаторов тяговых подстанций используют ряд основных методов.

1. Проведение электрических измерений на отключенном трансформаторе предполагает:
– измерение сопротивления изоляции обмоток и вводов;
– измерение сопротивления обмоток постоянному току;
– измерение тока и потерь холостого хода;
– измерение полного сопротивления короткого замыкания;
– измерение тангенса угла диэлектрических потерь.
2. Контроль характеристик изоляции под рабочим напряжением методами неразрушающего контроля включает в себя:
– исследование трансформаторного масла, состоящее из: физико-химического анализа трансформаторного масла; хроматографического анализа трансформаторного масла силовых трансформаторов; определения мутности масла оптоэлектронными методами;
– Тепловизионное обследование трансформатора и его высоковольтных вводов (определение локального нагрева элементов конструкции);
– Оценку опрессовки контактных соединений, основанную на: вибрационном обследовании трансформатора; акустических методах; резонансных методах; ультразвуковом обследовании трансформатора.
– Контроль изоляции обмоток, состоящий из: зондирования обмоток трансформатора низковольтными импульсами; измерения наличия и уровня частичных разрядов (ЧР) в изоляции.
3. Применение автоматизированных систем оперативно-технологического управления и удаленного мониторинга СТ, предполагает использование:
– систем непрерывного (стационарного) контроля (датчиков-анализаторов).
– систем мониторинга технического состояния силовых трансформаторов TDM (Transformer Diagnostics Monitor).

Анализ состояния силовых трансформаторов тяговых подстанций КрЖД. Серьезной проблемой эксплуатации тяговых подстанций является эксплуатация оборудования, выработавше-

го свой срок эксплуатации. Доля этого оборудования возрастает с каждым годом. Запасные части на устаревшее оборудование промышленностью не выпускаются, что ставит под вопрос возможность проведения капитального ремонта.

Силовые (тяговые) трансформаторы, выработавшие нормативные сроки службы по дистанциям электроснабжения ЭЧ, показаны в таблице 1.

На Красноярской железной дороге (КрЖД) доля трансформаторов тяговых подстанций, выработавших определенный стандартом минимальный срок службы - 25 лет, составляет 45%; 23% отработали 40 лет. По статистике распределение отказов и повреждений СТ и высоковольтных вводов тяговых подстанций в зависимости от сроков эксплуатации имеют два максимума: в первые 10-15 лет и в последние 30 лет. На КрЖД 27% от общего парка тяговых трансформаторов находятся в зоне первого максимума, 17% - в зоне второго (см. рис.1).

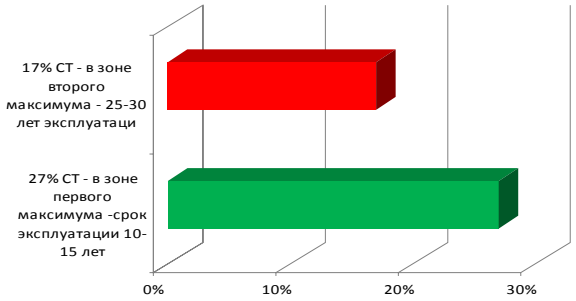


Рис. 1. Распределение отказов и повреждений СТ и высоковольтных вводов тяговых подстанций в зависимости от сроков эксплуатации

На Красноярской дороге ранняя диагностика технического состояния маслонаполненного оборудования для выявления внутренних дефектов электрооборудования проводится с 1997г. с использование, метода неразрушающего контроля, хроматографического анализа газов, растворенных в трансформаторном масле, на хроматографическом комплексе «Хроматэк-2000М», с программным обеспечением «Диагноз». Внутренние дефекты трансформаторов, выявленных этим методом, показаны на рис.2. В основном преобладают термические дефекты - 11 трансформаторов (в двух из них – нагрев свыше 700°С), процессы износа изоляции выявлены в 5 трансформаторах с длительными сроками эксплуатации (2 из них находятся в эксплуатации более 40 лет). Электрические дефекты выявлены в 9 тяговых трансформаторах (1 – с аварийным развитием дефекта). В 9 трансформаторах проведены средние ремонты, повреждения в них были устранены, выполнено восстановление выгоревших контактов РПН и протяжка отводов обмоток. Достоверность результатов диагностических обследований подтверждалась при вскрытиях во время ремонтов. Отказов в работе оборудования не происходило.

Сравнительный анализ результатов обследования показывает, что необходим переход от планово-предупредительной системы к обслуживанию по фактическому состоянию с внедрением малолюдных технологий эксплуатации. Это возможно с применением систем непрерывного (стационарного) контроля: системы мониторинга содержания газов и влаги в трансформаторном масле HYDRAN M2; акустического регистратора-датчика частичных разрядов «AR700» поиска и локации места дефектов изоляции внутри маслонаполненных трансформаторов; анализатора-

Таблица 1

Перечень трансформаторов, отработавших нормативные сроки

№ п/п	Наименование оборудования	Год установки	Всего в эксплуатации, шт.	Требуется замена, шт.	Замена по ЭЧ
1	Тяговые трансформаторы 110-220 кВ ТДТНЖ-40,0 МВА	1960-04 гг.	64	2	ЭЧЭ-Критово - 1 шт. (1960 г.), ЭЧЭ-Каштан - 1 шт. (1959 г.)
2	Тяговые трансформаторы 110 кВ ТДТНГЭ-31,5 МВА	1959-87 гг.	5	4	ЭЧЭ-Критово – 1 шт. (1959 г.), Чернореченская - 2 шт. (1959-60 гг.), Абакумовка – 1 шт. (1952 г.)
3	Тяговые трансформаторы 110-220 кВ ТДТНГ-20,0 МВА	1964-65 гг.	6	6	ЭЧ-7 - 4 шт. (1959-65 гг.), ЭЧ-6 2 шт. (Камышта, Теба)

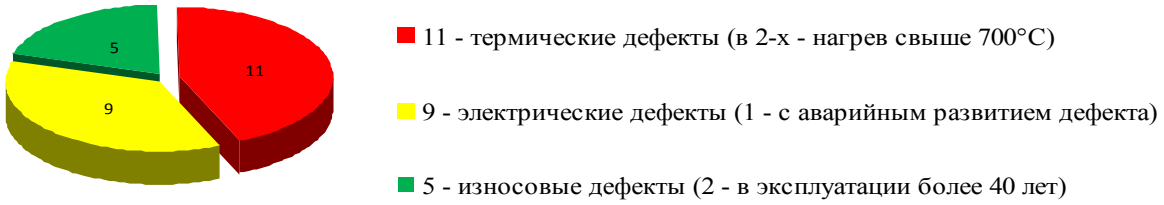


Рис. 2. Распределение дефектов в силовых (тяговых) трансформаторах, выявленных методом хроматографического анализа газов, растворенных в трансформаторном масле

датчика частичных разрядов «R2100» - 12 для измерения и анализа состояния изоляции оборудования по частичным разрядам; автоматизированной измерительной системы «Поликом РПН»; векторного измерителя VV-Tester (Vector Voltage Tester) параметров изоляции трансформаторных вводов под напряжением (контроль tgδ и частичных разрядов) и др.

На Красноярской железной дороге введена в работу 21 система диагностики оборудования тяговых подстанций СДПП, устанавливаемая на фидерах контактной сети. К сожалению, более широкое применение средств мониторинга и диагностики состояния СТ, применение экспертных систем в организации производственных процессов, позволяющих эффективно изменить систему обслуживания оборудования тяговых подстанций по всей сети железных дорог, и в частности на Красноярской железной дороге, сдерживает недостаточное финансирование.

Выводы. От состояния электрооборудования тяговых подстанций напрямую зависит безопасность движения поездов, пропускная способность участков железной дороги, обеспечение транзита электроэнергии питающих энергосистем, надежность электроснабжения железнодорожных узлов и сторонних потребителей.

Процесс снижения прочности изоляции, называемый старением или износом изоляции, при достижении минимально допустимого значения, определяет срок службы трансформатора. Старение и нарушение электрической прочности применяемой в трансформаторах твердой (бумажной) изоляции происходит под действием трех факторов:

1) теплового старения;
2) динамического износа;
3) влияния климатических условий.

Современный уровень диагностики устройств СТЭ в непрерывном технологическом процессе позволяет выявить основные показатели предельного состояния силовых трансформаторов тяговых подстанций в эксплуатации, закономерности их повреждаемости, установить наиболее часто встречающиеся повреждения и далее разработать систему оценки технического состояния СТ в эксплуатации и поддержания их на заданном уровне. Необходимо изменить систему обслуживания оборудования тяговых подстанций за счет широкого применения средств мониторинга и диагностики состояния СТ по всей сети железных дорог, и в частности на Красноярской железной дороге.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. ГОСТ 11677-85. Трансформаторы силовые. Общие технические условия. М. : Госстандарт, 1986.
2. Оценка и прогнозирование состояния главной изоляционной системы силовых трансформаторов / Пантелеев В. И., Попов Ю. П., Степанов А. Г., Южанников А.Ю. // Электрика. 2006. № 8. С. 38–42.
3. Лоханин А. К., Соколов В. В. Обеспечение работоспособности маслонаполненного оборудования после расчетного срока службы // Электрика. 2002. № 1. С. 10–16.

Мартьянов В.И., Пахомов Д.В., Архипов В.В. УДК 625.71.8

ОРГАНИЗАЦИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЕМ РЕГИОНАЛЬНОЙ СЕТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Повышение эффективности функционирования автомобильных дорог в России неразрывно связано с совершенствованием их зимнего содержания, от качества которого, в конечном счете, зависит непрерывность, скорость и безопасность движения автомобилей, например, для Иркутской области это примерно 180 дней в году.

Содержание сети автомобильных дорог состоит в регулярном проведении комплекса работ на участках дорог и их инфраструктуре для обеспечения возможности непрерывного и безопасного проезда автомобильного транспорта. На содержание расходуется обычно более 60-70% бюджета региона, выделяемого для всего дорожного хозяйства (отметим, что в 2009 году в Иркутской области на содержание расходуется 100% регионального бюджета дорожного хозяйства).

Организация зимнего и летнего содержания автомобильных дорог является комплексной задачей, реализуемой на основе обширного банка данных из которого важнейшими сведениями являются:

- техническая категория автомобильных дорог, включая геометрические параметры всех участков, количественные характеристики элементов (для расчета объемов работ по содержанию);
- результаты технического обследования транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог, включая определение опасных участков, требующих посыпки противогололедным материалом (ПГМ) в период зимнего содержания;
- дорожно-климатическое районирование региона, включая данные по объемам и длительности снегопадов, метелям и гололедным явлениям;
- регламенты работ по содержанию с цикличностью, ориентировочными календарными сроками (с учетом технических категорий автомобильных дорог и дорожно-климатического районирования);
- техническое оснащение эксплуатационных предприятий с их дислокацией, областями обслуживания сети автомобильных дорог;
- дислокация ресурсных (ПГМ) баз для организации зимнего содержания, транспортные схемы и технологические карты посыпки противогололедным материалом (ПГМ) опасных участков в период зимнего содержания;
- укрупненные единичные расценки работ по содержанию (на основе норм времени, объемов и стоимостей ресурсов: материалов, средств механизации, почасовой заработной платы рабочих и машинистов).

В статье рассматривается формализация задачи управления организацией содержания сети автомобильных дорог, ориентированная на применение логико-эвристических методов [1] для решения задач календарного, ресурсного и стоимостного рационального сетевого планирования работ по содержанию (для уменьшения затрат при выполнении комплекса работ).

Отметим также, что данная формализация очень близка к проекту реляционной базы данных, рассматриваемой предметной области, что также имеет самостоятельное, как минимум, методологическое значение для разработчиков программного обеспечения для управления организацией содержания сети автомобильных дорог.

Кроме того, рассматривается математическая задача рационального определения зон обслуживания ресурсных баз, а именно, баз складирования противогололедных материалов (ПГМ), что позволяет уменьшить средства, выделяемые на зимнее содержание, сокращает время ликвидации зимней скользкости и, следовательно, повышает безопасность дорожного движения.

Результаты данной работы реализованы (Госконтракт №254 2003-05гг. с Администрацией Иркутской области) в системе «Мониторинга сети автомобильных дорог Иркутской области», используемой ОГУ «Дирекция по строительству и

эксплуатации автомобильных дорог Иркутской области», хотя после перехода на конкурсные торги проведения работ по содержанию участков сети автомобильных дорог значение этого программного обеспечения уменьшилось (для рассматриваемой области экономических расчетов).

1. Задача управления организацией содержания сети автомобильных дорог.

В качестве математической модели, определяющей территориально распределенный комплекс (сеть автомобильных дорог), будем использовать ориентированный нагруженный граф ***G*** с координатной системой (пикетажом) на ребрах.

Таким образом, нагруженный граф является двуосновной алгебраической системой $G = \{ V, R; \sigma \}$, где **V** – совокупность вершин, **R** – ориентированные ребра (участки автомобильных дорог, включая необслуживаемые), σ - совокупность отношений и операций (описание ниже), определенных на вершинах и ребрах нагруженного графа (сигнатура алгебраической системы).

Вершины графа в основном являются примыканиями и пересечениями, либо концом (соответственно, началом) автомобильной дороги, т.е. концом или началом учетной единицы (титул) реестра обслуживаемых автомобильных дорог. Также вершинами могут являться муниципальные образования, которые сами обслуживают свои дороги, в этом случае вершине должно быть сопоставлено расстояние, которое необходимо проезжать по дорогам этого муниципального образования.

Определим основные отношения алгебраической системой ***G***, входящие в сигнатуру σ.

1. Metr(r, Name, b, e), где ***r-*** ребро графа; ***Name*** – наименование автомобильной дороги (титул); ***b, e*** – пикетаж (числа), соответственно, начала и конца ребра (расстояние от нулевого километра, обычно в метрах). Это отношение в дальнейшем будем называть определяющим *титулы (наименования) и пикетаж (метрику)* участков автомобильных дорог.

2. Relat(r_1, v, r_2, d, p), где r_1, r_2 – ребра графа, примыкающие к вершине ***v; d*** – расстояние между участками r_1, r_2; ***p*** – совокупность других дополнительных параметров для описания свойств вершины графа ***v.*** Это отношение в дальнейшем будем называть задающим *связность* участков автомобильных дорог.

Конечно, приведенная линейная система координат (пикетаж) недостаточна для адекватного описания такого сложного объекта, как сеть автомобильных дорог со своей инфраструктурой. В идеале сеть автомобильных дорог со своей инфраструктурой должна быть задана в геоинформационной системе с использованием цифровой топоосновы масштабных рядов 1:25000, 1:10000 и даже 1:500 для отдельных участков, хотя для рассматриваемых здесь задач управления содержанием сети автомобильных дорог, это не так важно.

Необходимо также определить подмножества частей ребер графа ***G,*** которые объединены по административному признаку (расположены в одном районе), хозяйственному (обслуживаются одним эксплуатационным предприятием) или какому-то другому. Для этого введем еще одно основное множество ***SetG*** и отношение ***Incl(s, r, c, f),*** где ***s*** из ***S, r*** - ребро, причем, если ***Metr(r, Name, b, e),*** то ***c (f)*** больше или равно ***b*** (соответственно, меньше или равно ***e***). В случае необходимости явно представить элементы подмножества ***s*** из ***SetG*** будем использовать несколько упрощенное обозначение (отсутствует начало и конец участка дороги)

$$s = \{ r_1, r_2, \ldots, r_k \}. \qquad (1)$$

Подмножество ***s*** из ***S,*** заданное формулой ***(1),*** будем называть *маршрутом*, если для любого $i < k$ ребра r_i, r_{i+1} связаны отношением ***Relat.***

Маршруты являются удобным механизмом создания технологических карт, схем доставки материалов и др. Первый $\mathbf{r_1}$ и последний $\mathbf{r_k}$ элементы должны иметь уточнения по началу (соответственно, концу) участка.

Автомобильная дорога (***СНиП 2.05.02-85*** **«АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ»)** состоит из пяти основных конструктивных элементов:

- земляное полотно и полоса отвода;
- дорожная одежда;
- искусственные сооружения;
- обстановка и благоустройство;
- озеленение.

Для задач содержания автомобильных дорог будем рассматривать объекты и их характеристики, определенные в таблице 1.

Таким образом, необходимо определить еще одно основное множество объектов исполнения работ по содержанию ***Ob*** со следующими отношениями:

- дислокации ***Disl (o, r, b, e, p),*** где ***o*** – объект из ***Ob, r-*** ребро графа, ***b, e*** – пикетаж, ***p*** – дополнительные параметры уточнения дислокации объекта;

- свойств ***ProperOb (o, type, name, p),*** где ***o*** – объект из ***Ob, type, name -*** тип и имя объекта (столбцы 2 и 3 из ***таблицы 1***), ***p*** – дополнительные параметры, обеспечивающие связь с *работами,* которые можно назначать для данного

объекта. В частности, дополнительные параметры включают информацию из столбцов 4 и 5 ***таблицы 1.***

Дислокация объекта является не только расстоянием от нулевого километра дороги до начала объекта, протяженность объекта (или расстояние от нулевого километра дороги до конца объекта), а также расположение (слева, справа и др.), расстояние от осевой линии дороги, высота от поверхности (полотна, обочины и др.), контурное определение (последовательность точечных объектов, соединенных отрезками) и прочее.

Таблица 1

Описание объектов автомобильной дороги

№	Идентификатор типа	Идентификатор имени	Характеристика для назначения работ	Характеристика объема
1	2	3	4	5
Весенне-летне-осеннее содержание				
1	Дорожная одежда	Проезжая часть	Тип покрытия	Ширина
2	Земляное полотно и полоса отвода	Разделительная полоса	Тип конструкции	Ширина
3		Обочина	Тип конструкции	Ширина
4		Откос	Тип конструкции	Ширина
5		Полоса отвода	Тип угодий	Ширина
6		Водоотводные канавы	Тип конструкции	-
7		Продольные лотки	Тип конструкции	Площадь сечения
8		Поперечные лотки	Тип конструкции	Площадь сечения
9	Искусственные сооружения	Тротуар	Тип покрытия	Ширина
10		Перильные ограждения	Тип конструкции	Высота
11		Ограждения пролетных строений	Тип конструкции	Высота
12		Колесоотбойник	Тип конструкции	Высота
13		Проезжая часть	Тип покрытия	Ширина
14		Опорные узлы	Тип конструкции	-
15		Сопряжение моста с насыпью	Тип конструкции	-
16		Водопропускная труба	Тип конструкции	Длина, Площадь сечения
17	Обстановка и благоустройство	Дорожный знак	Номер по ГОСТ	Площадь щитка
18		Сигнальные столбики	Тип конструкции	Высота
19		Ограждения	Тип конструкции	Высота
20		Павильоны	Тип конструкции	Площадь
21		Тротуар	Тип покрытия	Ширина
22		Разметка	Номер по ГОСТ	Материал
23		Посадочные площадки	Тип конструкции	Площадь
Зимнее содержание				
-1	Дорожная одежда	Проезжая часть	Тип покрытия	Ширина
-2		Проезжая часть	Опасный участок	Ширина
-3		Проезжая часть	Снегозаносимный участок	Ширина
-4	Земляное полотно и полоса отвода	Разделительная полоса	Тип конструкции	Ширина
-5		Обочина	Тип конструкции	Ширина
-6	Искусственные сооружения	Тротуар	Тип покрытия	Ширина
-7		Проезжая часть	Тип покрытия	Ширина
-8		Водопропускная труба	Тип конструкции	Длина, Площадь сечения
-9		Снегозащита	Тип конструкции	-
-10	Обстановка и благоустройство	Павильоны	Тип конструкции	Площадь
-11		Дорожный знак	Номер по ГОСТ	Площадь щитка
-12		Сигнальные столбики	Тип конструкции	Высота
-13		Ограждения	Тип конструкции	Высота

Как отмечалось во введении, основной задачей содержания автомобильных дорог является планирование *комплекса работ* с наименьшими затратами.

Таким образом, необходимо определить еще одно основное множество работ ***Work*** по содержанию объектов ***Ob*** со следующим отношением:

- свойств ***ProperWork (w, time, type, name, p),*** где ***w*** из ***Work***, ***time*** - период проведения работ (содержание *зимнее* или *весенне-летне-осеннее,* возможно также указание более точных календарных сроков), ***type, name -*** тип и имя объекта (столбцы 2 и 3 из ***таблицы 1***), ***p*** – дополнительные параметры, обеспечивающие связь с *объектами* для которых можно назначать данные *работы.* В частности, дополнительные параметры включают информацию из столбцов 4 и 5 ***таблицы 1.***

Важной характеристикой множества работ является наличие иерархической структуры с частичным порядком («кустарник»), т.е. необходимо рассматривать алгебраическую систему вида

$$\mathbf{Work} = <\{w_1,\ldots, w_k\};\ \rangle >.$$

В дальнейшем применение работы к конкретному объекту будет сводиться к применению всех меньших нулевого ранга («листья» дерева, не имеющие меньших).

В ряде случаев будет удобно работать с подмножествами работ $\{w_1,\ldots, w_m\}$, которые составляют *регламент работ* для какой-то совокупности участков дорог, либо, как указано выше, являются составляющими работы большего ранга. Основное множество, состоящее из элементов такого вида, будем обозначать ***SetWork.***

Для некоторых работ (как правило, *нулевого ранга*) определены *укрупненные единичные расценки (УЕР)*, задающие временные, ресурсные и стоимостные показатели для *указанного объема* работы.

Формализацией *УЕР* будет отношение

OneCost(w, cap, clock, worker, tech, mater, money), (2)

где ***w*** из ***Work***, ***cap*** – объем работ (и описание единицы измерения объема), ***clock -*** время необходимое для исполнения данного объема работ, ***worker -*** необходимые рабочие, ***tech*** – необходимые средства механизации, ***mater*** – объем и стоимость необходимых материалов, ***money*** – стоимость работ в целом.

Структура УЕР, как правило, включает нормы времени и стоимость для отельных рабочих и средств механизации, но для решаемых нами задач такой уровень детализации не требуется.

Планом работ будем называть применение *регламента работ* $\{w_1,\ldots, w_m\}$ (элемент основного множества к ***SetWork***) к *совокупности участков дорог* $\{r_1, r_2, \ldots, r_k\}$ (элемент основного множества к ***SetG***).

План работ будем представлять отношением (таблицей БД)

PlanWork (r, b, e, o, num, w), (3)

где объект ***o*** участка дороги ***r*** (***b, e*** – дислокация), связанный с работой ***w*** отношениями ***ProperOb*** и ***ProperWork*** (т.е., данные отношения имеют одинаковые ***type, name***, как для объект ***o***, так и для работы ***w***), ***num*** – объем работы на объекте ***o***, причем, если работа ***w*** имеет единичную расценку ***(2)***, то стоимость выполнения работы ***w*** на объекте ***o*** равна ***money * num,*** а время проведения работы равно

clock * num.

Реализацией (сетевым графиком выполнения) плана работ будем называть выделение *ресурсов,* т.е. определение времени исполнения работ (календарные сроки), средств механизации, рабочих и материалов. Более наглядно можно представить *реализацию* плана работ, как отображение *графика* отношения ***PlanWork (3)*** в декартово произведение множеств, называемое в дальнейшем совокупностью *ресурсов*,

Resource = Time x ***Worker*** x ***Tech*** x ***Mater,*** (4)

где ***Time*** – календарные сроки выполнения работ (время дискретное с шагом равным 10 минутам, хотя возможен другой больший или меньший шаг), ***Worker*** – совокупность рабочих, ***Tech*** – совокупность средств механизации, ***Mater*** – совокупность материалов. Такое отображение *(сетевой график выполнения работ),* обозначаемое в дальнейшем ***Schedule***, должно удовлетворять ряду ***ограничений***, связанных с планированием с *убывающим ресурсом* (нельзя одно средство механизации или рабочего одновременно использовать на разных объектах) и учетом затрат на *доставку средств механизации и рабочих, а для некоторых работ и материалов.*

Важной характеристикой рабочих и средств механизации является дислокация на определенный период времени, включая места постоянной дислокации. При реализации плана работ необходимо учитывать затраты на передислокацию (временные, ресурсные и стоимостные затраты). Отметим, что вопрос дислокации может касаться и мест складирования материалов (ПГМ).

Для возможности формально определить *ограничения* распишем более подробно задание отношения *сетевого графика выполнения работ*

Schedule(r, b, e, o, num, w, clock, worker, tech, mater), (5)

где параметры ***r, b, e, o, num, w*** - те же, что и в отношении ***PlanWork (3)***, ***clock*** – начало и конец календарных сроков проведения работ, ***worker, tech, mater*** - элементы совокупностей ***Worker, Tech, Mater (4)***, соответственно.

Формализация ограничений.

1. Планирование с *убывающим ресурсом* : любые две записи (элемента графика) отношения ***Schedule (5)***, связывающие одно и то же средство механизации или рабочего, не могут иметь пересекающееся календарное время по срокам начала и конца ***clock1*** и ***clock2***, соответственно.

2. Учет затрат на *доставку средств механизации и рабочих*: любые две записи (элемента графика) отношения ***Schedule (5)***, связывающие одно и то же средство механизации или рабочего, не могут иметь *дислокации* r_1, b_1, e_1 и r_2, b_2, e_2 недостижимые по времени перехода равному разности конца $clock_1$ и начала $clock_2$.

Пункт 2 формализации ограничений предполагает проведение работ $\mathbf{w_1}$ и $\mathbf{w_2}$ в один рабочий день при отсутствии промежуточных работ (такие работы в дальнейшем будем называть смежными), т.е. проводящихся с использованием того же ресурса (средства механизации или рабочего), передислокация которых, производится в период времени между концом $\mathbf{clock_1}$ и началом $\mathbf{clock_2}$. Этот период времени и определяет размер затрат на доставку средств механизации и рабочих.

Определим *тариф на доставку средств механизации и рабочих*, зависящий от времени доставки, как функцию

money = Tariff (clock, object), (6)

где ***clock*** – время доставки, ***object*** – наименование объекта доставки (средство механизации или рабочий), ***money*** – стоимость доставки за данное время.

Определим стоимость ***CostSched*** *сетевого графика выполнения работ* ***Schedule (5)***, где все работы имеют единичные расценки ***(2).***

Пусть график отношения ***Schedule (5)*** имеет ***k*** кортежей, т.е.

$$Schedule(r_i, b_i, e_i, o_i, num_i, w_i, clock_i, worker_i, tech_i, mater_i), \quad (7)$$

где i = ***1,…,k.*** Тогда затраты на проведение работ $CostSched_{work}$ (без стоимости затрат *на доставку средств механизации и рабочих*) равны

$$CostSched_{work} = \sum_{i=1}^{k} money_i \cdot num_i, \quad (8)$$

где $money_i$ – единичная расценка, соответствующая работе w_i.

Для определения затрат на *доставку средств механизации и рабочих* предположим, что график отношения ***Schedule (7)*** состоит из *смежных одной работы* ***w***, упорядоченных по времени и проводимых в течении одного рабочего дня ***day***, *ресурсы* данной работы (***worker, tech***) будем обозначать ***object***. Тогда затраты на *доставку средств механизации и рабочих* $CostSched_{object,day}$ будут равны

$$CostWay(r_1, b_1, object) + Tariff(clock_2 – clock_1, object) + \ldots + Tariff(clock_k – clock_{k-1}, object) + CostWay(r_k, e_k, object), \quad (9)$$

где первое и последнее слагаемое соответствуют затратам на *доставку средств механизации и рабочих* на первый объект работы и, соответственно, с последнего объекта на место постоянной дислокации, $clock_i – clock_{i-1}$ – время перехода от ***i-1*** объекта к ***i*** – му.

Затраты $CostSched_{transp}$ на *доставку средств механизации и рабочих* будут равны сумме $CostSched_{object,day}$ ***(9)*** по всем ресурсам (***worker, tech***) и дням работы ***day*** графика отношения ***Schedule (7).***

Таким образом, *общие затраты* ***CostSched*** на *выполнение сетевого графика работ* равны

$$CostSched_{work} + CostSched_{transp}. \quad (10)$$

Формула (10) определяет процедурную семантику (вычислимость) расчета стоимости ***CostSched*** содержания сети автомобильных дорог для заданного регламента работ.

Данная постановка позволяет использовать нетрадиционные логико-эвристические методы сетевого планирования [1], включая оптимизации перебора: с просмотром вперед (отсечение тупиковых вариантов) и переходом на определенное количество итераций назад (глубокий возврат).

2. Задача нахождения областей обслуживания ресурсных баз для сети автодорог

Качество зимнего содержания автомобильных дорог определяется не только своевременностью проведения снегоуборочных и противогололедных работ, но и эффективностью использования материальных, трудовых и денежных ресурсов, направляемых на их выполнение, что требует рационального планирования выполнения этих работ. Рациональное распределение зон обслуживания ресурсных баз, а именно баз складирования противогололедных материалов (ПГМ), позволяет уменьшить средства, выделяемые на зимнее содержание, сокращает время ликвидации зимней скользкости, что повышает безопасность дорожного движения. Методы сетевого планирования, в

свою очередь, широко используются для управления сложными территориально распределенными хозяйственными комплексами.

Дислокация баз хранения ПГМ относительно участков дорог, представляется в виде множества расстояний от базы до некоторого адреса на дороге. Одним из важнейших моментов в задаче является то, что необходимо посыпать не всю дорогу, а только опасные участки. Нужно сказать, что поиск опасных участков дороги, как задача, стоит особняком. По геометрическим характеристикам (резкий поворот, большой уклон, ограничение видимости), а также, исходя из нормативных требований (посыпание пешеходных переходов, карманов автобусных остановок), можно отыскать нужные участки [2].

Данная задача входит в класс задач по декомпозиции графа – разбиения множества элементов графа на классы. Задачи подобного рода возникают при адаптивном управлении сложными системами с дискретной эволюционирующей структурой, которые часто сводятся к агрегации системы на заданное число подсистем таким образом, чтобы связи между подсистемами были минимальными [3, 4].

Так, например, при производстве современного электронного оборудования особое место занимает разработка печатных плат и микросхем. Одной из задач, которая требует решения при их конструировании, является задача разбиения принципиальных схем устройств на составные части (подсхемы, функциональные блоки). Типовые элементы принципиальной схемы должны таким образом быть распределены по отдельным подсхемам, чтобы число внешних соединений было как можно меньше. Это связано с целью повышения надежности схемы, уменьшения влияния наводок, повышения технологичности и простоты конструктивного оформления.

Известные алгоритмы разбиения графов условно можно разбить на следующие группы:

- алгоритмы, использующие методы целочисленного программирования,
- последовательные алгоритмы,
- итерационные алгоритмы,
- смешанные алгоритмы.

Алгоритмы целочисленного программирования хотя и позволяют получить точное решение задачи, однако для задач реальной сложности фактически не реализуемы на ЭВМ.

При использовании последовательных алгоритмов сначала по определенному правилу выбирают вершину графа, затем осуществляют последовательный выбор вершин (среди нераспределенных) и присоединении их к формируемому куску графа. После образования первого куска переходят ко второму и т.д. (до получения разрезания исходного графа).

Наиболее известным итерационным алгоритмом является алгоритм Кернингана-Лина (KL-алгоритм, [3, 4]), минимизирующий количество связей между подграфами. KL-алгоритм разработан в 60-х годах прошлого столетия. Он используется для улучшения начального (возможно случайного) разбиения графа, путем обмена вершинами из начальных наборов. KL алгоритм основан на понятии веса – величины, которая определяет выигрыш от перемещения вершины из одного подмножества в другое. Алгоритм меняет вершины с максимальным весом местами с вершинами из другого подмножества. Недостатком данного подхода является то, что перемещения вершин могут привести к локальному минимуму. Существует также модификация KL-алгоритма – за один его шаг перемещается только одна вершина, после чего формируется очередь вершин для каждого подмножества. Вершины в очередь помещаются по убыванию веса. Если заданные условия балансировки нарушаются, вершина не может быть перенесена.

В смешанных алгоритмах компоновки для получения начального варианта «разрезания» используется алгоритм последовательного формирования кусков; дальнейшая оптимизация решения осуществляется перераспределением вершин между отдельными кусками графа.

Нужно сказать, что обычно задачи декомпозиции графов рассматриваются с позиций формирования подграфов таким образом, чтобы уменьшить количество связей между ними.

Конечно, в общей постановке задачи можно говорить помимо нахождения областей обслуживания, также и о нахождении мест дислокации баз. Для решения подобных задач можно использовать, например: метод Хакими, итерационный алгоритм нахождения центра графа и другие.

Рассмотрим общую постановку задачи. Зададим неориентированный граф

$$\mathbf{G(V, E) = <V, E>},$$

где **V**- множество вершин, $\mathbf{E \subseteq V \times V}$ – множество ребер, $\mathbf{|V| = n}$ – степень графа.

Пространством решений служит множество всевозможных разбиений графа на непересекающиеся подграфы. Требуется определить разбиение множества вершин **V** графа **G(V, E)** на **k** подмножеств – $(\mathbf{V_1,\ldots,V_k})$ таким образом, чтобы для кусков графа $\mathbf{G_1(X_1,V_1)}$, …, $\mathbf{G_k(X_k,V_k)}$ выполнялись следующие требования:

$$V_i \cap V_j = \varnothing, i \neq j,\ i, j = 1 \ldots k;$$

$$\bigcup_{i=1}^{k} V_i = V.$$

Легко видеть, что общее число допустимых решений задачи будет $\mathbf{k^n}$.

Рассмотрим построение функционала и налагаемых ограничений для задачи.

Очевидно, вершинами графа является множество опасных участков $o_1, o_2, \ldots o_n$, для посыпки каждого из которых требуется соответственно $v_1, v_2, \ldots v_n$ м^3 материала, $v_i = p - l_i - w_i$, где **p** – норма посыпки, l_i и w_i – длина и ширина посыпаемого опасного участка.

Зная расстояние от базы до дороги и дислокацию каждого из участков, получаем вектор расстояний до середины участков $d_{1j}, d_{2j}, \ldots d_{nj}$ для каждой базы, **j = 1, …, k**.

Введем матрицу соответствия опасных участков и баз

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \ldots & a_{1k} \\ a_{21} & & \ldots & \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ a_{n1} & & \ldots & a_{nk} \end{pmatrix}.$$

Элемент $\mathbf{a_{ij}} = \{1, 0\}$ определяет обслуживается (1) или не обслуживается (0) **i**-ый участок **j**-ой базой. Нахождение именно матрицы **A** и будет решением задачи.

Учитывая, что требуется минимизировать затраты на доставку материала до участка, можно ввести функционал, учитывающий средние дальности возки и количества возок для каждой базы

$$F = \sum_j \left[\frac{\sum_i a_{ij} \cdot v_i}{v_б} \right]^+ \cdot \frac{\sum_i a_{ij} \cdot v_i \cdot d_{ij}}{\sum_i a_{ij} \cdot v_i} \to \min, \quad (11)$$

где $\mathbf{v_б}$ – объем бункера машины, а $[\ ]^+$ - операция округления числа до большего целого.

Формула (11) определяет среднюю дальность возки ПГМ и используется для вычисления стоимости работ по посыпке дороги ПГМ. Именно поэтому можно говорить, что данный функционал обеспечивает экономическую интерпретацию задачи.

Естественно, наложить некоторые ограничения:

$\sum_j a_{ij} = 1, \forall i = 1,\ldots,n$ – один участок принадлежит только одной базе,

$\sum_i a_{ij} v_i \leq Vo_j, \forall j = 1,\ldots,k$ – ограничение на кол-во материала на базе (**Voj** – общее кол-во материала на базе), также можно ввести ограничение на количество механизмов, находящихся в распоряжении базы и на время проведения работ

$\frac{2 \cdot F \cdot x_{cp}}{m_j} \leq T, \forall j = 1,\ldots,k,$ где $\boldsymbol{x_{cp}}$ – средняя скорость передвижения транспорта, $\mathbf{m_j}$ – кол-во средств механизации на базе, **T** – время.

После получения разбиения опасных участков по базам ПГМ, можно попытаться разбить пограничные участки. В этом случае возможен вариант, когда одна часть участка относится к одной базе, а другая – к другой.

Заключение.

Сетевые графики исполнения регламентов работ зимнего содержания были просчитаны на системе «Мониторинга сети автомобильных дорог Иркутской области», используемой ОГУ «Дирекция по строительству и эксплуатации автомобильных дорог Иркутской области», и рекомендовались, как базовые, для эксплуатационных предприятий в 2004-05гг. (до перехода на конкурсные торги работ по содержанию сети автомобильных дорог Иркутской области).

Предполагается, что после небольшой модификации данное программное обеспечение и обновленная база данных может использоваться для объективного обоснования стоимости проведения работ по содержанию участков сети автомобильных дорог на конкурсных торгах, что уменьшит риски предъявления судебных исков к ОГУ «Дирекция по строительству и эксплуатации автомобильных дорог Иркутской области» по необоснованному занижению стоимости работ по содержанию в конкурсной документации.

Рациональное распределение зон обслуживания ресурсных баз весьма трудная для внедрения задача, так как на практике дислокация баз ПГМ в Иркутской области напрямую зависит от мест добычи сырья.

Статья написана в раздельном соавторстве, где Мартьянову В.И. принадлежит идеология использования логико-эвристических методов, Пахомову Д.В. – основа проекта базы данных и алгоритмы расчета ряда основных задач, Архипову В.В. – экономическая часть проекта базы данных и алгоритмы расчета ряда экономических задач.

Авторы благодарны Симонову А.С. за представление обработки результатов работы видеопаспортизации автомобильных дорог в требуемой

форме, что позволило создать автоматически значительную часть базы данных.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Мартьянов В. И. Логико-эвристические методы сетевого планирования и распознавание ситуаций // Проблемы управления и моделирования в сложных системах : тр. Междунар. конф. Самара, 2001. С. 203–215.
2. Мартьянов В. И. Симонов А. С. Анализ и проектирование трассы автомобильной дороги // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2008. № 4(20). С. 16–23.
3. Новиков Ф. А. Дискретная математика для программистов : учеб. для вузов. 2-е изд. Спб. : Питер, 2005. 364 с.
4. Зубов В. С. Справочник программиста : базовые методы решения графовых задач и сортировки. М. : Филинъ, 1999. 256 с.

He Renwang

УДК 621.33

CALCULATION OF FAULT CURRENT ON ELECTRIC TRACTION NETWORK WITH SERIES COMPENSATORS

1. Introduction

Series compensators are frequently used to improve the voltage distribution in electric traction networks. It is necessary to calculate the short-circuit current through these compensators for relay protection, system reliability analysis or other purposes. Yet it is unusually complicated to accomplish the calculation[1-5]. The paper presents a novel approach to this problem.

2. Mathematical Model

Fig.1 shows a fault on power traction systems.

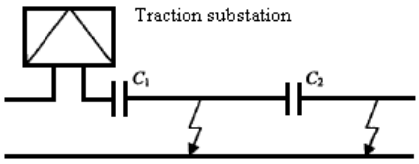


Fig. 1. Fault on power traction system with compensators

Its equivalent circuit is shown in Fig.2.

According to Kirchhoff's laws, the fault current i can be expressed as follows:

$$\begin{cases} \dfrac{d^2 i}{d\tau^2} + \dfrac{R+R_T}{X+X_T}\dfrac{di}{d\tau} + \dfrac{X_C\, i}{X+X_T} = \dfrac{1}{X+X_T}\dfrac{du}{d\tau}, \\ (\tau = \omega t) \end{cases} \qquad (1)$$

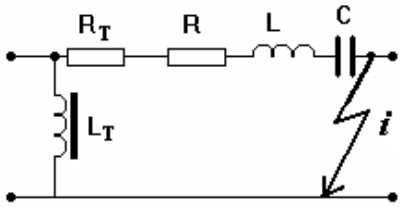


Fig. 2. Equivalent circuit of fault on power traction system with compensators

where R, X, X_C are the resistance, inductive reactance and capacitive impedance on the line respectively, while R_T, X_T are the resistance and reactance of the transformer respectively.

3. Calculation of Fault Current

There are inductors with iron cores inside the transformers. Since the load current of on a contact line is usually more than 600 amperes, and the fault current would be much larger, the magnetic saturation should be considered. The magnetic flux can be expressed in higher-degree polynomial

$$\phi = \sum_{k=0}^{n} \alpha_k i^{2k+1} . \qquad (2)$$

According to Faraday's law of induction, the voltage will be

$$u = N\frac{d\phi}{dt} = N\frac{d\phi}{di}\frac{di}{dt} = N\frac{di}{dt}S_0 ,$$

$$S_0 = \frac{d\phi}{di} = \sum_{k=0}^{n}(2k+1)\alpha_k i^{2k} ,$$

where N is the number of turns in a winding.
Thus, equation (1) can be rewritten as

$$\begin{cases} u = u_R + u_L + u_C + u_n, \\ u_R = (R + R_T)\ i, \\ \dfrac{di}{d\tau} = \dfrac{1}{X} u_L, \\ \\ \dfrac{du_C}{d\tau} = \dfrac{1}{\omega C} i, \\ u_n = \omega N \dfrac{di}{d\tau} S_0. \end{cases} \tag{5}$$

Derive the *m* th or *(m-1)* th derivative of *i* with respect toτ in equation (5):

$$\begin{cases} i^{(m)} = \dfrac{1}{X} u_L{}^{(m-1)}, \\ u_C{}^{(m-1)} = \dfrac{1}{\omega C} i^{(m-2)}, \\ u_R{}^{(m-1)} = (R + R_T) i^{(m-1)}, \\ u_n{}^{(m-1)} = \omega N (i S_0)^{(m-1)}, \\ \qquad = \omega N \sum\limits_{\lambda=0}^{m-1} C_{m-1}^{\lambda} i^{(m-\lambda-1)} S_0{}^{(\lambda)}, \\ u_L{}^{(m-1)} = u^{(m-1)} - u_C{}^{(m-1)} - u_R{}^{(m-1)} - u_n{}^{(m-1)}. \end{cases} \tag{6}$$

Using equation (3) and equation (4), the current can be rewritten as:

$$i^{(m)} = \frac{1}{X} \begin{bmatrix} u^{(m-1)} - (R + R_T) i^{(m-1)} - \\ -\dfrac{1}{\omega C} i^{(m-2)} - \\ -\omega N \sum\limits_{\lambda=0}^{m-1} C_{m-1}^{\lambda} i^{(m-\lambda-1)} S_0{}^{(\lambda)} \end{bmatrix}. \tag{7}$$

Suppose the starting value of fault current is $i(0)=I_0$, and the voltage of the equivalent source is $u=U_m \cos\omega t = U_m \cos\tau$. Noticing

$$(\cos\tau)^{(p)}\Big|_{\tau=0} = \Delta_{(p)} =$$

$$= \begin{cases} 0 & (p = 2\lambda + 1), \\ 1 & (p = 4\lambda), \\ -1 & (p = 4\lambda + 2), \end{cases} \qquad (\lambda = 0, 1, 2, \cdots)$$

then

$$u^{(m-1)}\Big|_{\tau=0} = \Delta_{(m-1)} U_m, \tag{8}$$

define

$$S_\xi = (S_{\xi-1})_i^{(1)} \qquad (\xi = 1, 2, \cdots, \lambda). \tag{9}$$

From equation (4):

$$S_0 = \frac{d\phi}{di} = \sum_{k=0}^{n} (2k+1) \alpha_k i^{2k}$$

or rewrite as

$$\begin{cases} (S_0)_\tau^{(1)} = (S_0)_i^{(1)} (i)_\tau^{(1)} = S_1 (i)_\tau^{(1)}, \\ (S_0)_\tau^{(2)} = (S_1 (i)_\tau^{(1)})^{(1)}, \\ (S_0)_\tau^{(k_0)} = (S_1 (i)_\tau^{(1)})^{(k_0-1)} = \\ \qquad = \sum\limits_{k_1=0}^{k_0-1} C_{k_0-1}^{k_1} (i)^{(k_0-k_1)} S_1{}^{(k_1)}, \\ (S_1)_\tau^{(k_1)} = \sum\limits_{k_2=0}^{k_1-1} C_{k_1-1}^{k_2} (i)^{(k_1-k_2)} S_2{}^{(k_2)}, \\ \\ \cdots\cdots \\ (S_\lambda)_\tau^{(k_\lambda)} = \sum\limits_{k_{\lambda+1}=0}^{k_\lambda-1} C_{k_\lambda-1}^{k_{\lambda+1}} (i)^{(k_\lambda-k_{\lambda+1})} S_{\lambda+1}{}^{(k_{\lambda+2})} = (i)_\tau^{(1)} S_{\lambda+1}, \end{cases}$$

thus

$$(S_0)_\tau^{(\lambda)} = (\lambda - 1) =$$

$$= \prod_{\xi=1}^{\lambda} \sum_{k_\xi=0}^{k_{\xi-1}-1} \sum_{k=1}^{n} \prod_{\gamma=1}^{\lambda} \frac{(2k+1)!(i_g)_\tau{}^{(k_{\xi-1}-k_\xi)}}{k_\gamma (k_{\gamma-1} - k_\gamma - 1)!(2k - \lambda - 1)! \alpha_k i_g{}^{k-\lambda-1}}. \tag{10}$$

Applying equation (10) in equation (7), the fault current can be expressed as

$$i^{(m)} = \frac{1}{X} \Bigg[u^{(m-1)} - (R + R_T) i^{(m-1)} - \frac{1}{\omega C} i^{(m-2)} - \tag{11}$$

$$-\omega N (\lambda - 1)! \sum_{\lambda=0}^{m-1} \prod_{\xi=1}^{\lambda} \sum_{k_\xi=0}^{k_{\xi-1}-1} \sum_{k=1}^{n} \prod_{\gamma=1}^{\lambda} \frac{(2k+1)!(i)_\tau{}^{(k_{\xi-1}-k_\xi)}}{k_\gamma (k_{\gamma-1} - k_\gamma - 1)!(2k - \lambda - 1)! \alpha_k i^{k-\lambda-1}} \Bigg].$$

4. Conclusions

The fault current on a power traction system with series compensators can be calculated by equation (11).

REFERENCES

1. Tomislav B. Sekara, Jovan C. Mikulovic. Optimal non-active power compensation under non-sinusoidal conditions // Electrical Engineering. 2006. V. 88 P. 423–429
2. Zhou Yun-fei, Song Bao, Chen Xue-dong. Position-force control with a lead compensator for PMLSM drive system // Int. J Adv Manuf Technol. 2006. V. 30 : 1084–1092.
3. Arshunin S. A., Zinakov V. E., Kadi-Ogly I. A. Asynchronous turbogenerators and compensators as a means of improving the operating capability of the Moscow power system // Power Technology and Engineering. 2008. V. 42, No. 1.
4. Zhang X.-P. Robust modeling of the interline power flow controller and the generalized unified

power flow controller with small impedances in power flow analysis // Electrical Engineering. 2006. V. 89. P. 1–9.

5. Fikret Caliskan. Robust quadratic stable dynamic output compensator // Electrical Engineering. 2008. V. 90. P. 181–187.

He Bolin, Yu Yingxia, Li Qiuping

УДК 669.7/.8

PREPARATION OF THE POROUS CERAMICS OF AI2O3-TIB2 SYSTEM BY SELF-PROPAGATING HIGH-TEMPERATURE SYNTHESIS METHOD

The porous ceramics is a new kind of functional material. These ceramic materials have many good properties and been attracted great interest for wide application in many fields such as chemical industry, information technology, biomaterial engineering, environmental protection and so on[1-3]. There are many homogeneous porosity which dispersed in base ceramic materials. They have the advantages of lower density, the BET surface area, physical surface characteristics, selecting permeability for liquid and gas, energy absorbing, damping, and so on. Forthmore, the porous ceramic materials have high temperature corrosion resistance, higher chemical stability and size stability. By making advantages of homogeneous porosity, the porous ceramics can be manufactured into filters, separating equipment, etc. By making advantages of energy absorbing property, they can be used for sound absorbing materials, shock absorption materials. By making advantages of high value of the BET surface area, they can be used for porous electrode, catalyst supports, heat exchanger, gas sensor. By making advantages of lower density and heat conductivity, they can be used as heat-insulation material and light structural materials.

Self-propagating High-temperature Synthesis

Today, the methods preparing porous ceramics are appending producing pore techniques, froth techniques, organic forth-dipping techniques, and sol-gel method [4,5]. Self-propagating high-temperature synthesis (SHS) is developed from Russia [6,7]. The method is based on the use of the heat released during exothermic reactions in order to preheat raw materials and to obtain a self-sustained system.

In this paper self-propagating high-temperature synthesis method is carried out to fabricated the porous ceramics and Al_2O_3-TiB_2system is used for research object by adjusting the state of reaction materials, including raw materials chemistry composition, reaction materials grain size, raw sample density and so on. Many porous ceramic products with different shapes such as circle plate, and cylinder, etc, have been fabricated by author with porosity of 45%-68%, and pore sizes of 1-400 μm.

1 Experiment conditions and process

1.1 Reaction system

$$10Al + 3TiO_2 + 3B_2O_3 \rightarrow 5Al_2O_3 + 3TiB_2.$$

For the porous ceramics of Al2O3-TiB2 system, the range of porosity and pore size is great. The porosity and pore size are easy alternated and controlled. In the Al2O3-TiB2 system, high combustion temperature is one of features during the combustion process. The highest temperature in Al_2O_3-TiB_2 system is 2230°C and higher than the melting point of Al_2O_3. The Al_2O_3 and TiB_2 in the system can be thoroughly sintered. Another feature is that the combustion materials are easy formed in the combustion process. The combustion materials are not easy delaminated and can be ignored easily. It does not effect the ignore point to add different kind and quantity of additions and the system can combusted thoroughly. It gives the convinince to alternate and control the pore size by adding some additions.

1.2 Raw materials

Al powder: industrial, grain size 45-175 μm; TiO_2 powder: industrial, rutile, grain size smaller than 45μm; B_2O_3 powder: industrial, grain size smaller than 175μm.

1.3 Raw materials

The raw materials are mixed according to chemical mole ratio of the composite system for 4 hours, and some additive is added. After being sieved, mixed and dried, the reactive mixtures were filled up the stainless steel die by pressing or librating to shape.

1.4 Raw sample and products measurement

The calculating formula of raw sample density is:

$$\rho_R = m / V. \quad (1)$$

In the formula, m is the mass of raw sample; V the volume.

Products density is measured by GB/T 1966-1996.

$$\rho_P = m_1\rho_w /(m_2-m_3), \quad (2)$$

where m_1 is the sample dry mass; m_2 is the mass with full of water in the air; m_3 is the mass with full of water in the water; ρ_w is the water density.

1.5 The visible porosity measurement

The visible porosity of cermet composite was calculated according to the following equation[8]:

$$\theta_V = [(m_2 - m_1) / (m_2 - m_3)] \times 100\%. \quad (3)$$

1.6 The total porosity calculation

The total porosity of cermet composite was calculated according to the following equation[8]:

$$\theta_T = (1 - \rho_S / \rho_0) \times 100\%, \quad (4)$$

where ρ_0 is the produce academic density. In the reaction system, ρ_0 is 4.06 g/cm^3. the formula is as follows[8]:

$$\rho_0 = \frac{m(Al_2O_3)+m(TiB_2)}{\frac{m(Al_2O_3)}{d(Al_2O_3)}+\frac{m(TiB_2)}{d(TiB_2)}} = \frac{mol(Al_2O_3)\times M(Al_2O_3)+mol(TiB_2)\times M(TiB_2)}{\frac{mol(Al_2O_3)\times M(Al_2O_3)}{d(Al_2O_3)}+\frac{mol(TiB_2)\times M(TiB_2)}{d(TiB_2)}}. \quad (5)$$

Notes: the density of Al_2O_3 is 3.9 g/cm^3; TiB2 is 4.5 g/cm^3.

1.7 The closed porosity calculation

The closed porosity is calculated by using the following formulor:

$$\theta_C = \theta_T - \theta_V. \quad (6)$$

1.8 Experimental equipment

The experimental equipment include pressure die which is made by ourselves, mechanical press with the force of 250KN, oxy-acetylene flame, JA1103N type electronic balance with the precision of 0.0001g, scanning electron microscope, graphite crucible, etc.

1.9 The compressive strength measurement

The compressive strength is measured by using the formula $\sigma = P/S$ on all-purpose material tester with cylinder φ20mm × 20mm according to GB/T1964-1996.

1.10 Manufactory process of porous ceramics

All the raw materials were weighed out according to the ratio $Al:TiO_2:B_2O_3$=9:8:7 and mixed homogenously. Some additive such as Al_2O_3 and SiC is added to the reaction system. In order to compare the experimental results, the specimen is shaped by using pressing and hand. The pressed samples which are put in the graphite crucible are ignored by using oxy-acetylene flame.

2 Experimental results and analysis

2.1Effect of additive on pore size and porosity

Generally, additives don't take part in chemistry reaction. So additive of Al_2O_3 and SiC are choozed. The raw materials are added some additive. The results are listed in Table 1, Table 2 and Fig. 1.

Table 1

Effect of additive Al_2O_3 on porosity

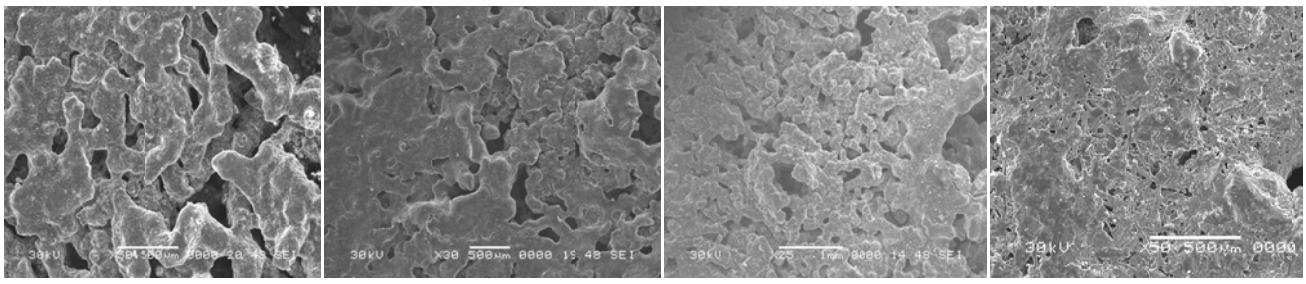
Additive/ %	Actul density	theoretical density	visible porosity	total porosity	closed porosity
0	1.28	4.06	57	62	5
10	1.31	4.03	62	67	5
20	1.39	4.03	59	66	7

Table 2

Effect of additive SiC on porosity

Additive/ %	Actul density	theoretical density	visible porosity	total porosity	closed porosity
0	1.29	4.06	59	64	5
10	1.32	4.03	63	68	5
20	1.41	4.03	61	67	6

Pore size is decreasing obviously when the content of Al_2O_3 and SiC is increased, but effect on porosity is little. This is because that Al_2O_3 and SiC don't take part in high chemistry reaction. But it obstructs reaction. The one it obstructs melt Al reuniting at the igniting, and fills in primary pores; the other is combustion temperature decreasing depreciations pore size enlarging. In addition, effect of different Al_2O_3 and SiC content on product actual density and academic density is little.



a. 0% Al_2O_3 b. 10% Al_2O_3 c. 20% Al_2O_3 d. 20% SiC

Fig. 1. The SEM micrographs of composite with different Al_2O_3 and SiC content

2.2 Effects of pressure on porosity and compressive strength

This research analyzed the effect of form pressure on porosity and compressive strength with shape by pressing and hand. The results are shown in Fig.2 and Fig.3.

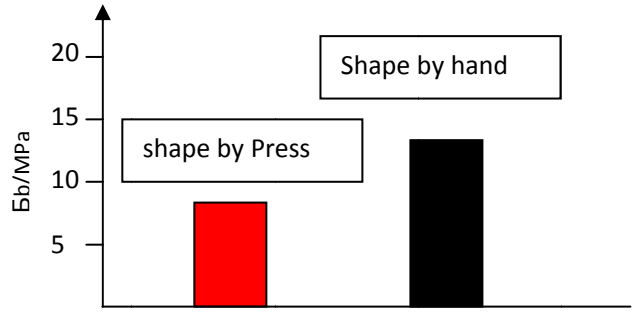
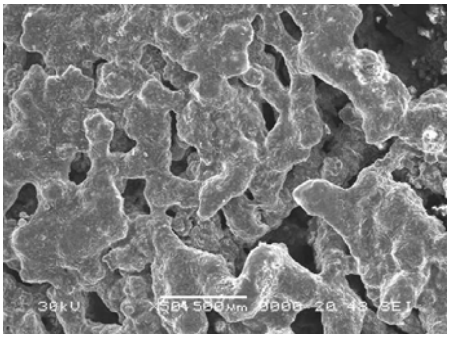
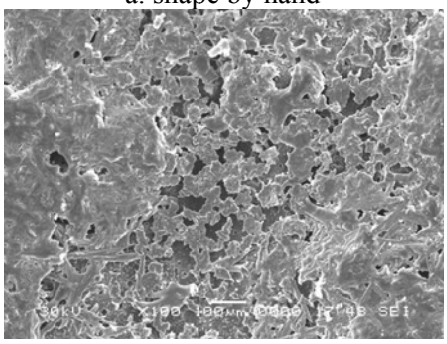


Fig. 2. Relation between shape pressure and compressive strength



a. shape by hand



b. shape by pressing

Fig. 3. The SEM micrographs of composite with different pressure

Effect of form press on pore size is obvious. The porous ceramic which is pressed by hand is larger than that of pressing by machine,see Fig.2 and Fig.3. The press can only decrease the pore sizes. It can not increase the porosity ratio. The compressive strength σ_b is increased by increasing the form press. Grain contact area is smaller and integrate between grains, more consolidate while composite compressive strength is higher when shaped by pressure.

2.3 Properties measurement

The research has indicated porous ceramics products with different shapes such as circle plate and cylinder, etc. the properties are following.

Composite pore sizes are 1-400μm; compressive strength is larger than 12MPa; visible porosity is about 45%-68%; the acid and alkali resistance is very good (mass losing < 2%).

Filtration capability by measured liquid passing is a means token filtration precision in this paper. Sample size is choose cylinder φ30mm×40mm. The liquid for filtration is composed with TiC powder weight 1g, grain size 3μm and distilled water 1000ml. The experimental result analyzed by using grain size analysis instrument is showed that the filtration capability of sample with additive 20% Al_2O_3 and SiC is 90%, 94%, respectively.

3 Conclusions

(1) Porosity and pore size of Al_2O3-TiB_2 system porous ceramic are easy to change and control by alternating the content of additive of Al_2O_3 and SiC. The filtration capability of the porous ceramic with additive 20% Al_2O_3 and 20%SiC is 90%, 94%, respectively.

(2)Effect of form press on pore size is obvious. The pore size of porous ceramic which is pressed by hand is larger than that of pressing by machine.

(3)The additive of Al_2O_3 and SiC can greatly decrease the pore size and its effect on porosity is little.

REFERENCES

1. Liu Fude, Chen Senfeng, Zhang Shuzheng. Materials Review. 2000. Vol. 14. 33 p. (In Chinese).

2. Wang Yaoming, Cai Weiqing. Jiang Su Ceramics. 2003. Vol. 36. 19 p. (In Chinese).
3. She J. H, Ohji T. Mater Chem and Phy. 2003. Vol. 80. 610 p.
4. Zhu Xinwen, Jiang Dongliang, Wang Tan Shouhong // Journal of Ceramics. 2003. Vol. 24. 40 p. (In Chinese).
5. Ma Wen, Shen Weiping, Dong Hongying. Powder Metallurgy Technology. 2002. Vol. 20. 365 p. (In Chinese).
6. He Bolin, Li Shuzhen. Journal of East China Jiaotong University. 2003. Vol. 20. 98 p. (In Chinese).
7. Mezhanov A. G. International Journal of Self-propagating High-temperature Synthsis. 1997. Vol. 16. 119 p.
8. Su Juan, Qian Donghao, Zhou Xiaoxin. Powder Metallurgy Technology. 2006. Vol. 24. p. (In Chinese).

Wu Cai-bin, Xiang Su-lin, Dong Zhong-zhen, Bu Jing-jing УДК 669.2/.8

THE EXPERIMENTAL RESEARCH OF VALUABLE METALS' RECOVERY FROM WASTE PRINTED CIRCUIT BOARDS

1. Introduction

The waste printed circuit board s(PCBs) is enough rich in noble metal, nonferrous metals, ferrous metal, rare earth metal and so on, therefore it has become a research focus. A lot of researches show that metal grades in the waste PCBs are better than industrial products of natural ore, the prospect of recovery is better as well. As a rule, the PCBs are referred to as secondary resources.

In PCBs waste resources development, its utilization technology mainly related to mechanical treatment, hydrometallurgy, hydrometallurgy, the recent emergence of the biological method and so on. At present, mechanical treatment has the characteristics of less pollution and resource comprehensive utilization so it has been used widely [1,2]. Wang Hui, studies on the crushing performance of PCBs employing several crushers such as jaw crusher, roller crusher, disk crusher, vibration grinding [3]. However, on separation, a company in Germany developes a separation of metal and plastic electrostatic separator, it can be separated from the particle size of less than 0.1mm, or even be able to recover the precious metals from the dust under some control conditions. Usually the dust in other processes could be treated as hazardous waste [4]. The methods of airflow-classifier and eddy current separator could be wide-spreadly applied to concentrate the PCBs [5-8]. For example, Shunli Zhang and others use a newly developed eddy current separator and recycling aluminum from the computer circuit board waste. The grate of aluminum metal enrichment is up to 85%, the recovery could reach 90% [9]; J.M. Krowinke and others use eddy separator could get 76% aluminum, 16% other non-ferrous metals and a small amount of glass, plastic, metal-rich collective, the recovery of aluminum could reach 90% [10].

2. Experimental

2.1 Materials

The waste PCBs are obtained from the discarded computer motherboards. The main components are shown in table 1. It is artificial pretreatment into 20 × 20mm × mm size before the crusher.

2.2 Flowsheets

The experimental flowsheets employed are presented in figure 1.

Table 1

The elment components in PCBs

Components	Cu	Zn	Mn	Ni	Fe	Al	Cr	Mg	Sn	Ti	SiO_2	C	Ag	Au	…
Contents /%	26.8	1.5	0.47	0.47	5.3	4.7	0.05	1.9	1.0	3.4	15	9.6	3300g/t	80g/t	…

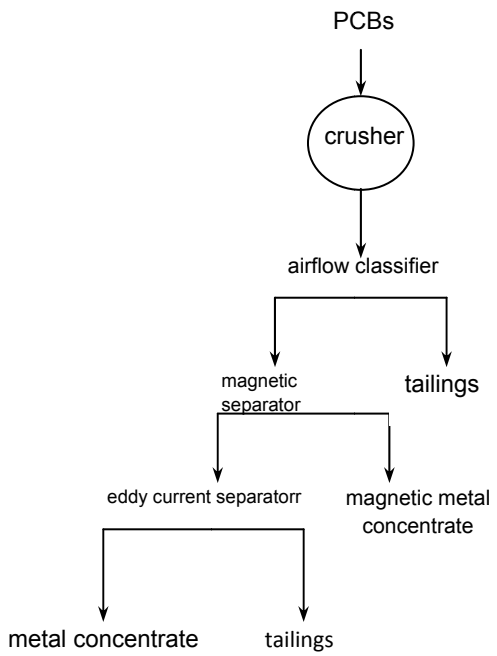


Fig. 1. Experimental Flowsheets

2.3 Methods

2.3.1 Crushing technology

The sealing hammer crusher of MPS-C2 by shear breaking combined with impact crushing made in Nanchang of Jiangxi is employed. The feeds of crusher are less than or equal to 60mm, the discharging size is below from 1 to 3mm, and the frequency of the hammer speed can be adjusted from 0 to 400 Hz.

The effect of the crushing technology is usually considered by two factors: one is crushing prodoct fineness; the other is the liberation degree of each level, which the latter is the main factor.

2.3.2 Separation technology

The experiment is done with the combination of airflow classification, magnetic separation and eddy current separation. The material firstly is removed tailings by air classification, then recovered ferrous magnetic metal concentrate by magnetic separation and at last enriched other nonferrous metals by eddy current separation.

In the experiment, the author uses a vertical column air classifier by self developed. The largest airflow is up to 1.16m^3/min and the air pressure is 0.25 Mpa. The eddy current separation is novel dry equipment made in changsha, china, used in recovering non-ferrous metals from the industry and living scraps. Its working parameters are as below. The diameter and the length of the classifier column are 0.325 and 0.400 meter, respectively. The peak cylinder surface magnetic field intensity is 0.6T, regulating the size of magnetic field by the frequency modulator and continuously being adjusted when the speed is between 0~2800r/min.

The measure standard of the classification's effect is always using factors just as the yield, the recovery and the grade of their concentrate.

3. Results and Discussion

3.1 The effect on hammer speeds versus the crushing results

Experiments is carried out by using 6 same samples with the weight of 200 g and the size of 0.02meter×0.02meter under different impact frequency as 50, 60, 70, 80, 90, 100Hz. The crushing results and the single libera tion degree are shown in table 2, and the crushing product characteristic curves are shown in figure 2.

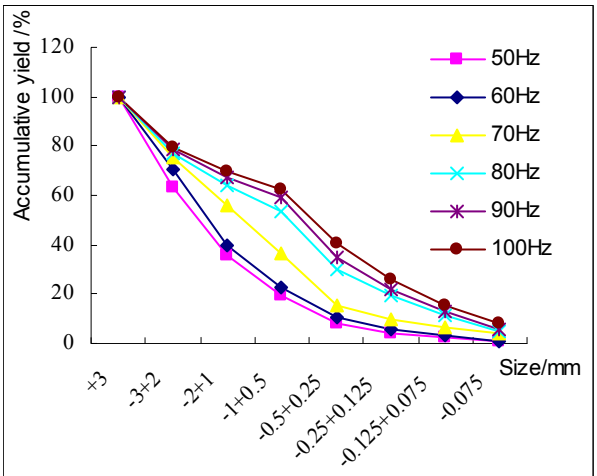


Fig.2 The characteristic curve of the particle size distribution under difference frequency

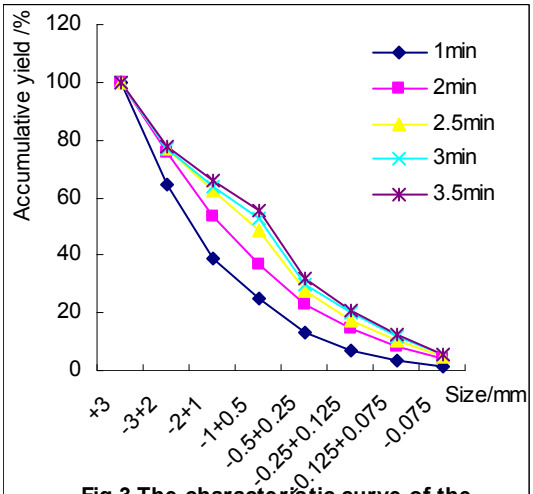


Fig.3 The characteristic curve of the particle size distribution under difference times

Table 2 show that with the hammer speed accelerated, the shear force become increase and the

Table2

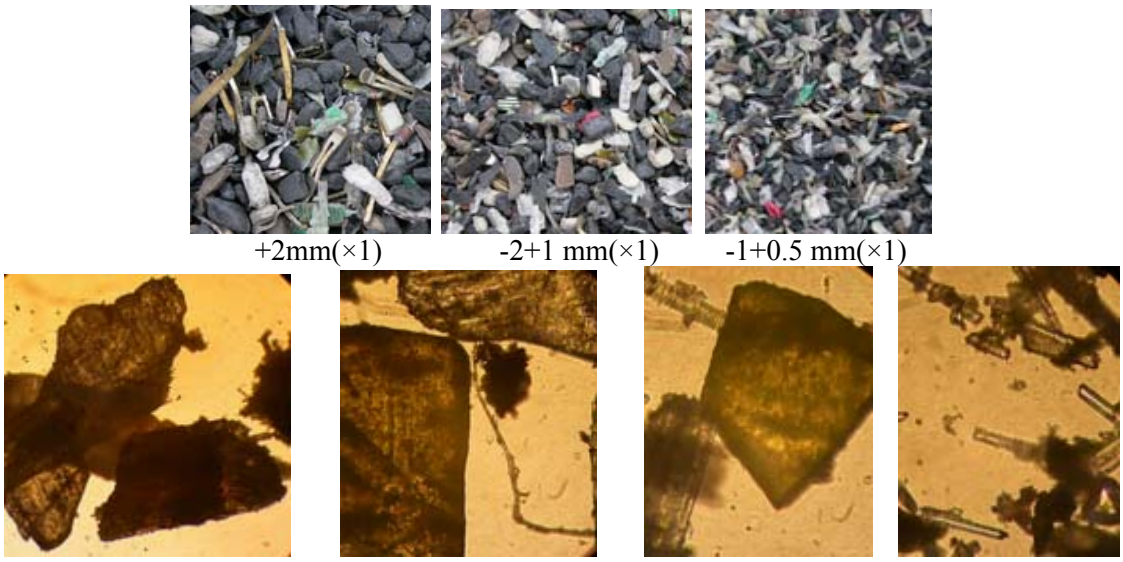
The yield and their liberation degree of each size fraction under different frequency /%

Particle size (mm)	50Hz		60Hz		70Hz		80Hz		90Hz		100Hz	
	yield	Liberation degree	yield	Liberation degree	yield	Liberation degree	yield	Liberation degree	yield	Liberation degree	yield	Liberation degree
+3	36.70	5	29.30	8	24.40	10	22.60	12	21.30	15	20.55	18
-3+2	28.00	10	30.90	12	19.25	15	13.35	20	11.40	21	9.95	26
-2+1	16.20	20	17.45	26	20.05	28	10.55	30	8.45	32	6.80	35
-1+0.5	11.10	72	11.85	80	20.65	85	23.10	88	23.70	90	22.40	92
-0.5+0.25	4.30	95	4.80	96	5.60	96	10.70	98	13.15	98	14.15	99
-0.25+0.125	1.70	100	2.60	100	3.65	100	8.10	100	8.95	100	10.45	100
-0.125+0.075	1.40	100	1.90	100	2.30	100	6.45	100	7.25	100	7.90	100
-0.075	0.80	100	1.20	100	4.10	100	5.15	100	5.80	100	7.80	100
Average size /mm	2.88		2.61		2.19		1.86		1.73		1.63	

crushing results become better, which can be clearly proved Fig.2. From 100 to 50Hz, the product characteristic curves are more and more convex and the material fineness is rougher. In fact, under the action of 100Hz, the liberation reflect of the PCBs is also the best, shown in table 2, while the non-liberation products over 1 mm become more, therefore the reflect of the crusher shoule be improved.

3.2 The crushing times effect versus the crushing results

Experiments are also conducted by using 6 same samples with the weight of 200 g and the size of 0.02meter×0.02meter under impact frequency 100Hz at different crushing time as 1, 2, 2.5, 3, 3.5minutes. The crushing results and the single liberation degree are shown in table 3, and the crushing product characteristic curve are shown in figure 4.



+2mm(×1) -2+1 mm(×1) -1+0.5 mm(×1)

-0.5+0.25 mm(×10) -0.25+0.125 mm(×25) -0.125+0.075 mm(×40) -0.075 mm(×40)

Fig. 4. Micrographs

Table 3

The yield and their liberation degree of each size fraction under different times /%

Partial size (mm)	1min		2min		2.5min		3min		3.5min	
	yield	Liberation degree	yield	Liberation degree	yield	Liberation degree	yield	Liberation degree	yield	Liberation degree
+3	35.15	6	24.45	10	23.20	13	22.90	16	22.00	20
-3+2	25.80	10	21.80	16	14.35	18	13.35	21	12.15	28
-2+1	14.15	18	17.25	27	13.70	31	10.95	34	10.05	40
-1+0.5	12.00	75	13.65	80	20.75	83	22.85	87	23.65	89
-0.5+0.25	6.05	90	8.40	92	10.60	94	9.80	96	11.35	98
-0.25+0.125	3.40	100	6.10	100	7.05	100	8.45	100	8.65	100
-0.125+0.075	2.05	100	4.40	100	5.75	100	6.35	100	6.55	100
-0.075	1.40	100	3.95	100	4.60	100	5.35	100	5.60	100
Average size /mm	2.73		2.18		1.93		1.86		1.83	

As the longer the crushing time is, the better the results are. The rule of crushing PCBs is basically similar to the conclusion above. On the other hand, the longer crushing time will affect the production capability. Micrographs under the impact frequency 100Hz at 3.5 minutes are shown in figure 4.

3.3 The air press (airflow) effect versus the separation results

In the airflow classification experiment, the air press or resistance can be adjusted in order to produce different press in each size fraction: 0.25, 0.2, 0.10, 0.05, 0Mpa. Each press corresponding runoff is 0.75, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.16m^3/min, respectively. The results are shown in table 4.

The results showed that, the material size is finer, in less, the metal and plastic will be easy to in breath into the tailing so that fell short of separation. But when the material is rougher, the precision is also better.

3.4 Effect on magnetic intensity of the eddy current separation

The feeds handled from the airflow and magnetic separation are carried out in the eddy current separator at different working frequency as 2.5, 5.0, 10, 15, 20Hz. The corresponding magnetic field intensity are 1.5, 3, 6, 9, 12T, respectively. The results are shown in table 5.

In theory, as the working frequency increased, the magnetic force in magnetic field produced by separator become bigger, the eddy current produced by conductive metal cutting magnetic lines of force become greater and the yield of metal produced by classification is more. But from the table 5, we could see, at different intensity, the effect don't become better following the working frequency while the metal concentrate yield is best at 5Hz, which is related to the material size. Table 6 approve this.

3.5 Effect in different separation drum speed

The experiments are carry out in different separation drum speeds to the separator. The results are shown in table 6.

Separation drum speeds will directly influence on the contact times of conductive metal particles. As a rule, metal concentrate yield can produce more with these particles' contact times prolonged.

3.6 Effect on different separation feed size

Separation experiment are carried out in difference feed size at above 0.25mm.The results are shown in table 7.

Table 4

The effect of each product at different air press/%

Feeds/mm \ working condition / yield/%		0.25MPa (0.75 m^3/min)	0.2MPa (0.8 m^3/min)	0.15MPa (0.9 m^3/min)	0.1MPa (1.0 m^3/min)	0.05MPa (1.10 m^3/min)	0MPa (1.16m^3/min)
-3+2	Concentrate yield	95.09	93.52	91.74	88.99	20.24	73.83
	Tailing yield	4.91	6.48	8.26	11.01	19.76	26.17
-2+1	Concentrate yield	94.38	86.68	84.64	78.14	74.01	73.10
	Tailing yield	5.62	13.32	15.36	21.86	25.99	26.90
-1+0.5	Concentrate yield	87.25	82.22	67.86	58.41	54.75	50.34
	Tailing yield	12.75	17.78	32.14	41.59	45.25	49.66
-0.5+0.25	Concentrate yield	79.91	60.52	39.91	26.18	15.94	0
	Tailing yield	20.09	39.48	60.09	73.82	84.06	100.00
-0.25+0.125	Concentrate yield	67.52	52.27	39.29	20.78	0	
	Tailing yield	32.48	47.73	60.71	79.22	100.00	-
-0.125+0.075	Concentrate yield	40.61	26.87	13.83	0		
	Tailing yield	59.39	73.13	86.17	100.00	-	-
-0.075	Concentrate yield	6.09	0				
	Tailing yield	93.91	100.00	-	-	-	-

Table 5

The results of the eddy current separation at different frequency

Working frequency/ Hz	Concentrate yield/%	Middling yield/%
2.5	21.34	78.66
5.0	24.81	75.19
10	20.20	79.80
15	20.98	79.02
20	15.58	84.42

Table 6

Results in different separation drum speed

speed / r/min	Concentrate yield /%	Middling yield /%
42	28.9	71.1
69	25	75
96	21.8	78.2
110	19.4	80.6
147	15.1	84.9

Table 7

Results in different separation feed size

Particle size/ mm	Concentrate yield /%	Middling yield /%
+2	16.97	83.03
2~1	24.09	75.91
1~0.5	34.44	65.56
0.5~0.25	41.67	58.33

From the table 7, at the same yield and the drum speed, to the same conductivity metals, the particle is finer; the yield of metal is higher. This required the material should achieve a definite fineness. But if the particle is smaller, the yield would decline, this is because the falling trajectory of metals and plastics are similar, which would lead the utility of classification.

The metal concenteate from eddy current separation is maken by X-ray analysis, shown in Fig.5. The results showed that the classification concentrate dominated by Cu, Zn, Sn and the grade is high.

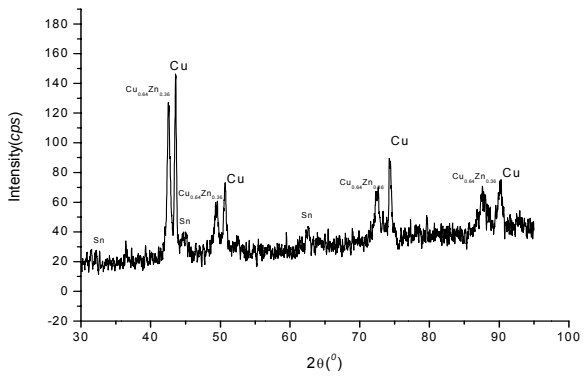


Fig. 5. X-ray diffraction analysis results for eddy current separation concentrate

4. Conclusions

(1) The hammer crusher's product fineness and its liberation degree can be incerased with the hammer speed accelerated and crushing times lengtheded. However, due to the products had a lot of the level +1 mm substances, this could also look forward to better crushing efficiency if the facilities' crushing way is improved.

(2) The separating effect of airflow separator is weaken with the feeds of particle size became smaller and smaller.

(3) The yield of metal concentrate is closely related to the magnetic intensity, separation drum speed and feed size in the eddy current separator. The excellent metal concentrate can be obtained by simultaneously adjusting eddy current separator parameters.

(4) Because of a strong toughness and compression capability of PCBs, it has pointed that choose or develope crushing equipment is especially important, which is basic of the resource utilization of PCBs.

(5) Experiments have further shown that the traditional beneficiation such as airflow classification, magnetic separation and eddy current separation can be applied to the PCBs' concentration.

Acknowledges

The financial support provided by Natural Science Foundation of Jiangxi (Project 2008GZH0061 and 20061B0101800) for this work is gratefully acknowledged.

REFERENCES

1. Shunli Zhang, Eric Forssberg. Mechanical separation-oriented characterization of electronic scrap. Resources,Conservation and Recycling. 21(1997) : 247-269
2. Jirang Cui ,Eric Forssberg. Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: a review. Journal of Hazardous Materials. B99(2003) : 243-263
3. WANG Hui, GU Guo-hua,QI Yun-feng. Crushing performance and resource characteristic of printed circuit board scrap. J. CENT. SOUTH UNIV. TECHNOL. 5(2005) : 552-555
4. Wen Xuefeng, Zhao Yueming. The research of recycle metal concentrate from Wasted Printed Circuit Board by electrostatic separation. Environmental Engineering. 2(2004) : 78-80
5. C.Eswaraiah,T.Kavitha, S.Vidyasagar et al. Classification of metals and plastics from printed circuit boards(PCB) using airclassifier. Chemical Engineering and Processing. 47(2008) : 565-576
6. J. Kolacz. Investigation flow conditions in dynamic air classification. Minerals Engineering. 15(2002) : 131-138
7. Mihai Lungu. Separation of small nonferrous particles using an angular rotary drum eddy-current separator with permanent magnets. Int.J.Miner.Process.78(2005) : 22-30
8. H.M.Veit ,T.R.Diehl , A.P.Salami et al. Utilization of magnetic and electrostatic separation in the ecycling of printed circuit boards scrap. Waste Management. 25(2005) : 67-74
9. Shunli Zhang, Eric Forssberg, Bo Arvidson, et al. Aluminum recovery from electronic scrap by high-force eddy current separation. Resources, Conservation and Recycling. 23 (1998) : 225-241.
10. J. M. Krowinkel, W. L. Dalmijn. Processing of televisions by mechanical separation techniques. 4th International Symposium on Recycling of Metals and Engineered Materials, 2000 : 47-59.

Тюпин В.Н.

УДК 614.8

РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЙСМИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ НАЗЕМНОГО ВЗРЫВА НА ОБЪЕКТЫ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Энергия, выделяемая при наземных и подземных ядерных взрывах, по оценкам специалистов составляет 10^{12}-10^{17}Дж. Это соответствует энергии землетрясений с магнитудой в 4-8,5 по 9 бальной шкале Рихтера. Результаты разрушающего сейсмического действия землетрясений хорошо известны. Однако, о разрушающем сейсмическом действии, например, наземных ядерных взрывов, данных практически нет. В [1] и других работах по безопасности жизнедеятельности приводятся пять поражающих факторов ядерного взрыва, но среди них отсутствуют расчеты по сейсмическому действию. Вместе с тем необходимо отметить, что если воздушная ударная волна (УВВ) от наземного взрыва действует на выступающие над поверхностью земли здания и сооружения (одно и более этажные дома, промышленного или гражданского назначения), то она практически не действует на приземные сооружения: железные и автомобильные дороги, тоннели, трубопроводы и порталы. А если на пути УВВ появляются возвышения (холмы, горы) или низины, где расположено сооружение, то УВВ отражаясь от этих возвышений, устремляется в атмосферу. Вместе с тем сейсмическая волна, распространяясь в земной коре, воздействует и на приземные и заглубленные сооружения, находящиеся в пересеченной местности.

Экспериментально установлены размеры воронок в зависимости от мощности наземного ядерного взрыва для сухих суглинистых и супесчаных грунтов, которые приведены в табл.1 [2].

Анализ данных показывает, что при наземном взрыве глубина воронок превышает средний размер зоны наносов и коры выветривания. Однако, в настоящее время в США разработаны многоступенчатые ядерные боеголовки, которые образуют в земной коре воронку глубиной до 500-700м. То есть разрушающие сейсмические волны распространяются по скальным горным породам земной коры, которые, благодаря высоким упругим свойствам, хорошо передают энергию сейсмовзрывной волны.

В работе [3] указано, что сейсмическое проявление ядерного взрыва – весьма сложное явление, не изученное до конца. Причем радиус сейсмического действия наземного ядерного взрыва с разрушением сооружений составляет 2-5км и более.

В работе [4] экспериментальными исследованиями установлено, что при подземном взрыве ядерного заряда «Рулисон» (43±8кт) в США на глубине 2570м архитектурные нарушения зданий (трещины в стенах и штукатурке) наблюдались на расстоянии от 10км (46% нарушенных зданий) до 65км – 0,075%.

В настоящей статье рассмотрен вопрос о сейсмическом действии волны деформаций наземного ядерного взрыва на приземные объекты железнодорожного транспорта. Получены теоретические формулы расчета величины сжимающих напряжений, создаваемых волной деформаций от ядерного взрыва и расстояния, на которых железнодорожный путь или его элемент не будут разрушены. Проведены численные расчеты параметров по приведенным формулам в различных горно-геологических условиях.

Таблица 1

Параметры воронок при наземном ядерном взрыве

Мощность взрыва, Мт	1,0	5,0	10,0	50,0
Диаметр воронки, м	396	670	885	1340
Глубина воронки, м	91	150	192	305

Многочисленные экспериментальные и теоретические исследования [6] позволили установить, что при действии взрыва химических взрывчатых веществ (ВВ) в трещиноватом массиве горных пород распространяется волна деформаций. Она представляет собой последовательное перемещение отдельностей массива горных пород от взорванного заряда ВВ, их соударение и разрушение. Скорость распространения волны деформаций составляет от 10 до 100 м/с. При определении

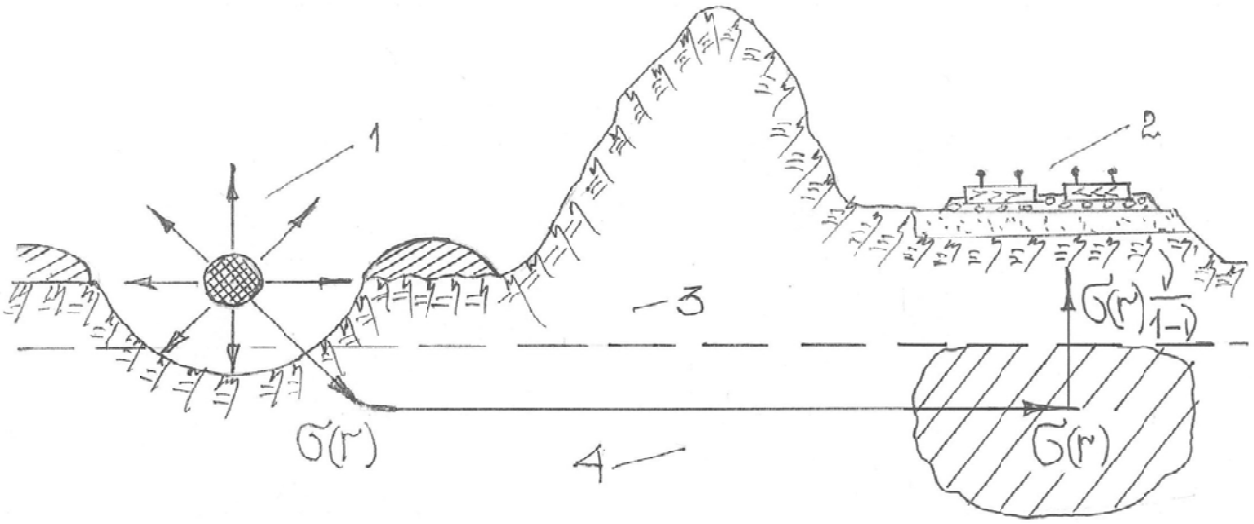


Рис. 1. Схема сейсмического действия наземного ядерного взрыва на железнодорожный путь: 1-место взрыва боеголовки, 2- железнодорожный путь, 3- слой наносов, 4- земная кора.

параметров воздействия взрыва на трещиноватый массив горных пород в [6] была использована энергетическая теория (закон сохранения энергии) и получены достоверные формулы расчета размеров зон деформирования массива, сжимающие, растягивающие напряжения, деформации и скорость распространения волн деформаций.

Для определения основных параметров действия наземного ядерного взрыва также использован закон сохранения энергии. При проведении теоретических расчетов необходимо учесть следующие факторы. Литосфера в месте ядерного взрыва имеет слоистую структуру. Ниже земной поверхности находится слой наносов (глины, суглинки, супеси или пески), ниже которого находятся скальные трещиноватые горные породы. Взрыв наземного ядерного заряда ВВ создает воронку выброса и разрушающая волна деформаций распространяется по наиболее упругой части литосферы – по скальному массиву (рис.1). При прохождении фронта волны под железнодорожным путем упругая реакция сжатого волной скального массива приводит к деформированию грунтового основания земляного полотна, балласта, шпал и рельс. Это и приводит к деформированию и разрушению элементов железнодорожного пути.

Вначале определим сжимающие напряжения от взрыва в скальном массиве с расстоянием от места взрыва. Часть энергии наземного ядерного взрыва расходуется на упруго-пластические деформации трещиноватых пород земной коры $\overline{W_к}$.То есть,

$$W_я K_c = \overline{W_к}, \qquad (1)$$

где $W_я$ - полная энергия ядерного взрыва, K_c - коэффициент перераспределения $W_я$ в волну деформаций.

Очевидно, что

$$W_я = QA_u, \qquad (2)$$

где Q - тротиловый эквивалент ядерного взрыва; A_u - полная идеальная работа при взрыве тротила.

Определить величину K_c точно практически невозможно. Однако, известно, что при подземном ядерном взрыве около 5% энергии расходуется на сейсмовзрывную волну [3,6]. Аналогичная цифра получена при дроблении негабаритных кусков породы накладными зарядами химических ВВ. Тогда можно предположить, что K_c =0,05.

Средние затраты энергии на упруго-пластические деформации трещиноватых горных пород земной коры при взрыве полусферического заряда определяют по формуле [5] после использования теоремы о среднем значении функции

$$\overline{W_к} = \frac{\sigma^2(r)}{3E_к}\Phi_к \pi \left(\frac{1}{r}\right)\int_0^r r^3 dr = \frac{\sigma^2(r)}{12E_к}\Phi_к \pi r^3, \qquad (3)$$

где $\sigma(r)$ - сжимающее напряжение, создаваемое волной деформаций в трещиноватых горных породах; $E_к$, $\Phi_к$ - упруго-пластические параметры трещиноватого массива горных пород; r - геометрический параметр.

Подставляя (2) и (3) в (1) и решая полученное уравнение получим формулу для определения величины сжимающих напряжений с расстоянием от центра взрыва

$$\sigma(r)=\left(\frac{12E_к QA_и K_c}{\pi\Phi_к r^3}\right)^{0.5}. \qquad (4)$$

Величину растягивающих (тангенциальных) напряжений можно определить по формуле

$$\sigma_T(r)=\left(\frac{12E_к QA_и K_c}{\pi\Phi_к r^3}\right)^{0.5}\left(\frac{\nu}{1-\nu}\right), \qquad (5)$$

где ν - упругий параметр трещиноватого массива горных пород земной коры.

Для определения результатов действия волны деформаций на элементы железнодорожного пути необходимо решить энергетическое уравнение, согласно которому энергия упругой реакции $W_{кT}$ сжатого волной деформаций объема массива под железнодорожным путем (рис.1) расходуется на упруго-пластические деформации грунтового основания, земляного полотна и верхнего строения пути $\overline{W_{озп}}$.

$$W_{кT}=\overline{W_{озп}}. \qquad (6)$$

Величину $W_{кT}$ можно определить по формуле

$$W_{кT}=\frac{\sigma_T^2(r)}{2E_к}l_н^3, \qquad (7)$$

где $l_н$ - горизонтальный геометрический параметр.

Средние затраты энергии на упруго-пластические деформации основания и земляного полотна определены с использованием интегральной теоремы о среднем значении функции

$$\overline{W}_{озп}=\frac{\sigma_\Phi^2(h)}{2E_{оз}}l_н^2\left(\frac{1}{h}\right)\int_0^h hdh=\frac{\sigma_\Phi^2(h)}{4E_{оз}}l_н^2 h, \qquad (8)$$

где $\sigma_\Phi(h)$ - фактическая величина сжимающих напряжений в грунтовом основании и земляном полотне; $E_{оз}$ - упругий параметр грунтового основания или земляного полотна (за счет действия постоянных поездных нагрузок они как правило равны); h - вертикальный геометрический параметр.

Подставляя (7) и (8) в (6) с учетом (5), получим

$$\sigma_\Phi(h)=\left(\frac{24E_{оз}QA_и K_c l_н}{\pi\Phi_к r^3 h}\right)^{0.5}\left(\frac{\nu}{1-\nu}\right). \qquad (9)$$

Расстояние от центра взрыва до железнодорожного пути, на котором происходит разрушение элемента пути равно

$$R=\left[\frac{24E_{оз}QA_и K_c l_н}{\pi\Phi_к h[\sigma]^2}\left(\frac{\nu}{1-\nu}\right)^2\right]^{\frac{1}{3}}, \qquad (10)$$

где $[\sigma]$ - прочностной параметр элемента железнодорожного пути.

Формулы (9) и (10) определяют параметры воздействия волны деформаций при наличии в основании рыхлого грунта (см. рис.1). В том случае, если в основании железнодорожного пути находится массив горных пород, то в (9) и (10) величина $E_{оз}$ заменяется на модуль деформаций балласта.

В случае, если мощность грунтового массива превышает 500м, разрушающая волна деформаций распространяется по нему и в формулах (9) и (10) $\Phi_к$ принимается равной 1, а ν принимается равной для грунтов.

Определим численные значения радиусов разрушения рельс, шпал, балласта и земляного полотна при известных прочностных характеристиках равных, соответственно, 10^7Па (предел прочности стыка рельсов на разрыв), 10^6Па, $3\cdot10^5$Па, $7\cdot10^4$Па. Железнодорожный путь располагается на грунтовом основании. Численные значения параметров в (10) $E_{оз}=5\cdot10^7$ Па, $Q=10^9$ кг, $A_и=3\cdot10^6$ Дж/кг, $K_c=0{,}05$, l_H=5м, $\Phi_к$=7, $h=10$ м, ν=0,4.

Численные расчеты показывают, что разрыв рельс произойдет на расстоянии до 262м от центра взрыва, разрушение шпал на расстоянии до 1220м, балласта до 2720м, земляного полотна – 7170м.

При расположении в основании пути трещиноватого массива горных пород с $E_к=5\cdot10^{10}$ Па на скальное основание укладывают балласт с l_H=5м, $h=0{,}4$ м. В (10) вместо $E_{оз}$ подставляем E_δ и делим на $\Phi_б$, равное 200.

Расчеты показывают, что все расстояния, на которых происходит разрушение элементов железнодорожного пути увеличиваются и составляют для рельс 1280м, шпал - 5960м, балласта – 13300м, земляного полотна – 35045м. Это, вероятно, связано с тем, что слой наносов (грунтов) и земляное полотно служат демпфирующими прокладками для распространения разрушающих волн деформаций.

В работе [2] определены предельные разрушающие напряжения для зданий и сооружений железных дорог при действии ударной воздушной волны. Приближенно можно принять эти значения предельных напряжений и при воздействии волн деформаций на здания и сооружения, которые приведены в табл.2.

Таблица 2

Пределы прочности зданий и сооружений железных дорог

Здания, сооружения и устройства	Пределы прочности, 10^5, Па	
	разрушение слабое	разрушение сильное
Железнодорожный путь	1-1,5	3-5
Мосты с металлическими пролетными строениями длиной: до 45м 100м и более	0,5-1 0,4-0,6	2-2,25 1-1,5
Мосты железобетонные с пролетным строением длиной 20-25м	0,5-1	2-3
Здания с металлическим каркасом	0,1-0,3	0,4-0,6
Здания кирпичные: малоэтажные многоэтажные	0,1-0,15 0,08-0,1	0,25-0,35 0,2-0,3
Здания деревянные	0,06-0,08	0,12-0,2
Подстанции (трансформаторные, тяговые, водонапорные башни)	0,1-0,3	0,6-0,7
Подземные линии водопровода, газопровода	4-6	10-15
Шоссейные дороги с твердым покрытием	1,2-3	10-20

Расчеты величины сжимающих напряжений при расположении сооружений на грунтовом основании, проведенные по формуле (9) при численных параметрах, приведенных выше и r=3000м, дают $\sigma_{\Phi}(h) = 2{,}6 \cdot 10^5$ Па. Сопоставление полученной величины сжимающего напряжения с прочностными характеристиками зданий и сооружений (табл.2) говорит о том, что практически все объекты будут в той или иной степени нарушены при наземном ядерном взрыве мощностью 1 Мт на расстоянии 3,0км. Для доказательства правомерности полученных формул можно использовать экспериментальные данные при подземном ядерном взрыве «Рулисон» в США мощностью 43 кт. Слабые (архитектурные) разрушения жилых домов произошли на расстоянии 10км в 46 % зданий. Слабые разрушения происходят согласно табл. 2 при напряжениях, в среднем равных 10^4Па. Используя (10) при параметрах, приведенных выше, получим R= 11500м, что соответствует фактическим данным о слабых разрушениях кирпичных жилых домов.

Таким образом, в настоящей статье получены формулы расчета параметров сейсмического действия наземного ядерного взрыва, а также расстояния, на которых происходит разрушения тех или иных зданий и сооружений или элементов железнодорожного пути. Полученные формулы могут быть использованы для оценки параметров разрушения и паспортизации важных производственных объектов при наземных и подземных ядерных взрывах.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Крючек Н. А., Латчук В. Н., Миронов С. К. Безопасность и защита населения в чрезвычайных ситуациях : учеб. для населения / под общ. ред. Г. Н. Кириллова. М. : Изд-во НЦЭНАС, 2001. 264 с.
2. Гражданская оборона на железнодорожном транспорте : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / И. И. Юрпольский, Г. Т. Ильин, Н. Н. Янченков и др. ; под ред. И. И. Юрпольского. М. : Транспорт, 1987. 272 с.
3. Миндели Э. О. Разрушение горных пород. М. : Недра, 1975. 600 с.
4. Хольцер Ф. Эффекты движения грунта при ядерных взрывах : обзор наблюдаемых повреждений и методов их прогнозирования // Подводные и подземные взрывы : сб. М. : Мир, 1974. С. 368–392.
5. Тюпин В. Н. Прогноз устойчивости железнодорожного пути при динамическом воздействии землетрясения // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2006. № 12. С. 64–69.
6. Катин В. Д., Андреев А. И. Радиационная обстановка в дальневосточном регионе после проведения подземных ядерных взрывов // Безопасность в техносфере. 2007. № 4. С. 28–32.

Новосельцев П.В., Купцов Ю.А.

УДК 629.4.015

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГРУЗОВОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО СОСТАВА И ЛОКОМОТИВА НА ОСНОВЕ НАТУРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Целью настоящей работы является разработка и представление способа исследования параметров движения грузового железнодорожного состава и силового взаимодействия его элементов.

Этого можно достигнуть на основе изучения полученных экспериментальным способом величин абсолютного перемещения отдельных элементов подвижного состава (S_1; S_2; S_3; S_4 и т.д.) (Рис. 1).

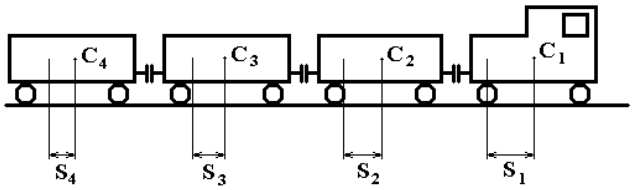


Рис. 1. Схема состава с измеренными перемещениями

Измерить эти перемещения экспериментальным способом можно при помощи цифровых камер, закрепленных на неподвижных опорах и фиксирующих положение объекта через заданные промежутки времени. Разность положений объекта дает величину абсолютного перемещения (Рис. 2.).

Ниже представлены результаты натурного эксперимента, выполненного на станции Улан-Удэ в апреле 2007 года, и сделан анализ его результатов. Целью этих экспериментов было изучение взаимодействия локомотива и грузового состава. Запись процесса движения производилась при помощи двух цифровых камер, закрепленных на неподвижных опорах; одна, через заданный интервал времени, фиксировала положение локомотива, а другая – положение первого вагона.

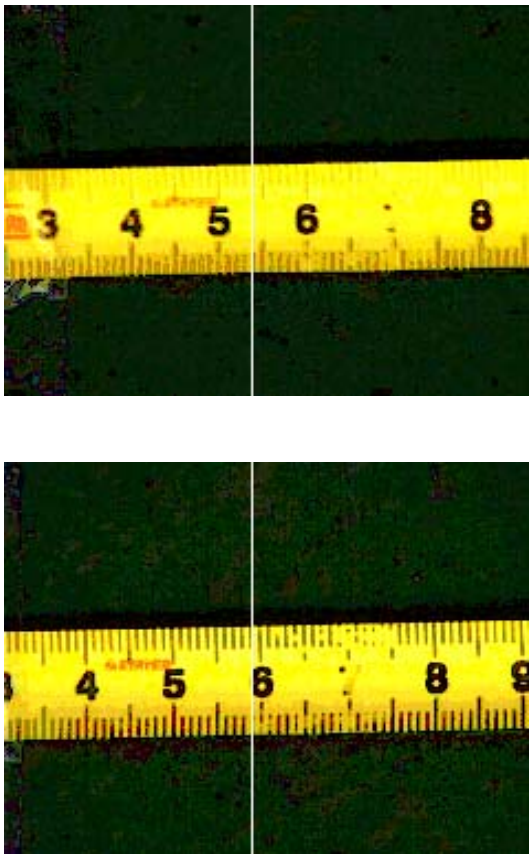


Рис.2. Снимки процесса трогания с места грузового состава

Масса железнодорожного состава, ведомого электровозом ВЛ-80, была равна 4370 тонн. Трогание с места осуществлялось на горизонтальном участке пути, температура наружного воздуха $+8^0$ С. Железнодорожный состав был предварительно растянут.

Обработка результатов производилась с использованием программы EXCEL в следующей последовательности.

1. Считывались перемещения локомотива $S_л$ и первого вагона $S_в$ и строились их графики (Рис. 3).

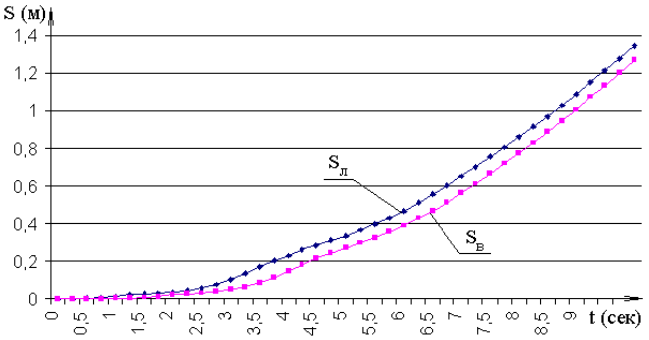


Рис. 3. Графики перемещения локомотива $S_л$ и первого вагона $S_в$

2. Вычислялась разность ($S_л$ - $S_в$) и строился ее график (рис. 3).

3. Вычислялись приращения перемещений локомотива $\Delta S_л$ и первого вагона $\Delta S_в$ за заданный промежуток времени Δt.

4. Вычислялись средние скорости локомотива $V_л$ и первого вагона $V_в$ в интервале времени Δt.

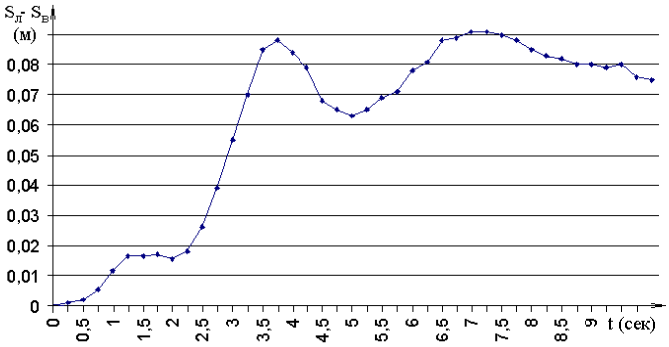


Рис. 4. График изменения разности перемещений локомотива и первого вагона

5. Строились графики изменения скорости локомотива и первого вагона (рис. 5).

6. Вычислялись приращения скоростей локомотива $\Delta V_л$ и первого вагона $\Delta V_в$ за заданный промежуток времени Δt.

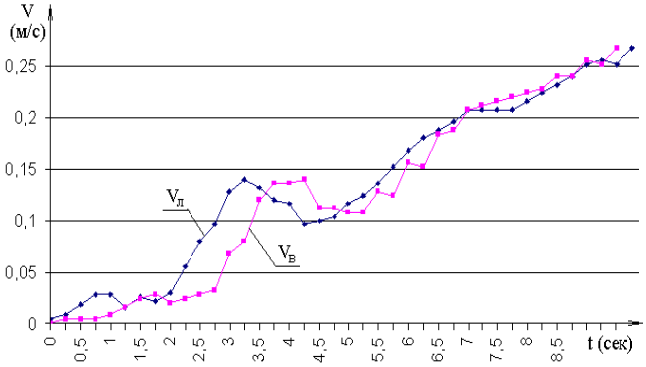


Рис. 5. Графики изменения скорости локомотива и первого вагона

7. Вычислялись средние ускорения локомотива $a_л$ и первого вагона $a_в$ в интервале времени Δt.

8. Строились графики ускорений локомотива $a_л$ и первого вагона $a_в$ (рис. 6).

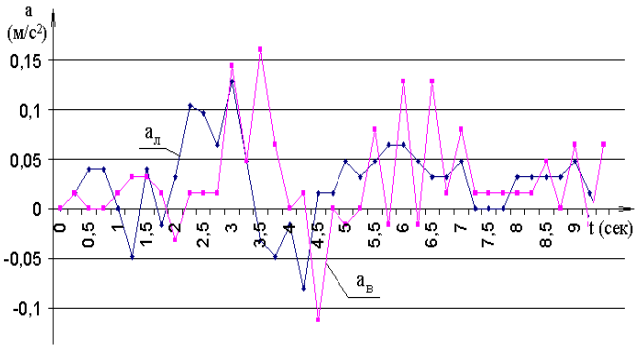


Рис. 6. Графики изменения ускорения локомотива $a_л$ и первого вагона $a_в$

9. Вычислялась продольная реакция железнодорожного состава на локомотив в интервале времени Δt и строился ее график (рис. 7):

$$(F_к - F_c) - m_л a_л = R, \qquad (1)$$

где $F_к$ - касательная сила тяги; F_c - сила сопротивления движению локомотива; R - реакция состава на локомотив кН; $m_л$ - масса локомотива; $a_л$ - ускорение локомотива м/с^2.

10. Сравнивалось изменение кинетической энергии локомотива:

$$U = \frac{1}{2} m_л (V_{л2}{}^2 - V_{л1}{}^2) \qquad (2)$$

с суммой работ внешних сил:

$$A_i = (F_к - F_c) \cdot \Delta S_л - R \cdot \Delta S_л. \qquad (3)$$

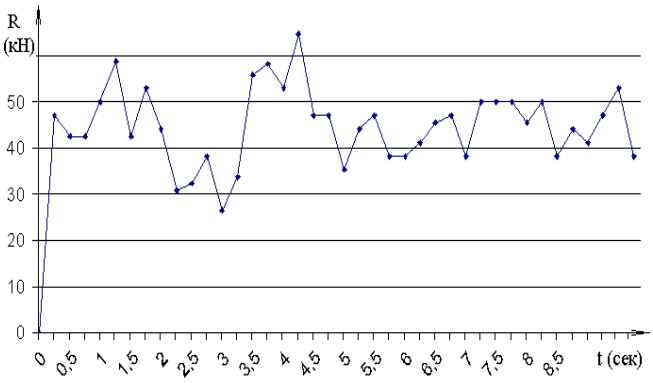


Рис. 7. Графики изменения продольной реакции состава на локомотив *R*

11. Для оценки работы автосцепного устройства при трогании с места вычислялась разность между кинетической энергией и суммой работ внешних сил $U - A$ и строился ее график (рис. 8).

В случае, если изменение кинетической энергии больше суммы работ внешних сил $U - A > 0$, можно предположить, что высвобождается энергия упругой деформации и расходуется на ускорение движения железнодорожного состава.

В случае если изменение кинетической энергии меньше суммы работ внешних сил $U - A < 0$, можно предположить, что работа внешних сил затрачивается на преодоление сухого трения в автосцепных устройствах.

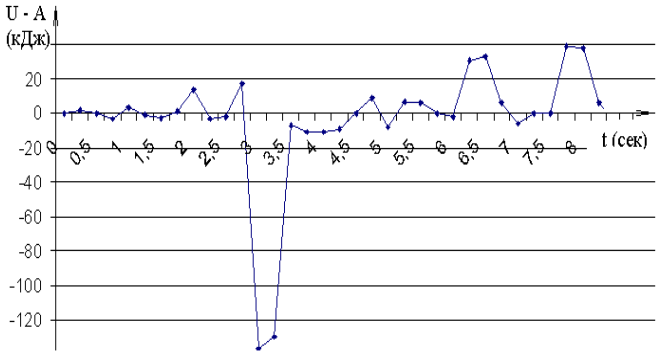


Рис. 8. График изменения разности между кинетической энергией и суммой работ внешних сил $U - A$

13. Устанавливался момент времени, когда приходит в движение весь состав. Это возможно, например, при ускорении вагона a = 0. В этом случае реакция локомотива на состав:

$$R = \Sigma m_в \cdot g \cdot w. \qquad (4)$$

14. Определялся суммарный удельный коэффициент сопротивления:

$$w = \frac{R}{\Sigma m_в \cdot g}. \qquad (5)$$

Результаты вычислений помещены в таблицу 1.

Анализируя результаты натурных экспериментов, представленные в таблице 1, можно сделать следующие выводы:

1. При трогании с места, расстояние между локомотивом и первым вагоном, изменяется по закону, приближающемуся к гармоническому (рис. 4). Период колебаний этого процесса изменяется от T = 2,5 сек. до Т = 4 сек., а круговая частота $\omega = \frac{2\pi}{T}$ изменяется в пределах от 2,5 до 1,5 $с^{-1}$. Если принять, что квадрат частоты продольных колебаний железнодорожного состава –

$$\omega^2 = \frac{C}{m_л},$$

где С – жесткость автосцепного устройства между локомотивом и первым вагоном; то $C = \omega^2 m_л$. Подставляя $\omega = 1,5 \div 2,5 сек^{-1}$, получим, что жесткость изменяется в пределах

$$C = 414 \div 1150 \frac{кН}{м}.$$

2. Усилие в автосцепке изменяется по закону, близкому к гармоническому (рис. 7). Период этих колебаний около 2,5 сек. Изменение усилия отличается от закона изменения расстояния между локомотивом и первым вагоном по фазе на угол:

$$\varphi = \frac{0,5}{2,5} \cdot 2\pi = 0,4 \cdot \pi.$$

Из рисунка 4 видно, что в интервале времени от t = 2,5 секунд до t = 3,5 секунд зависимость $S_л$ - $S_в$ линейна. На этом основании можно принять ориентировочно: $R \approx C \cdot (S_л - S_в)$. При изменении ($S_л$ - $S_в$) в пределах от 0,02 до 0,09 сила R изменяется от 20 кН до 63 кН. Тогда жесткость автосцепного устройства равна:

$$C = \frac{63 - 20}{0,07} = 614 \frac{кН}{м}$$

и находится в ранее определенных пределах от 440 до 1150 $\frac{кН}{м}$.

Таблица 1

Данные эксперимента

Время	Перемещение Локомотива	Перемещение вагона	Разница переме-щений	Скорость локомо-тива,	Скорость вагона	Ускорение локомоти-ва	Ускорение вагона	Реакция локомоти-ва	Разность энергии и работы,
t,	Sл	Sв	Sл - Sв,	Vл	Vв	ал	ав	R	U-A
(сек)	(м)	(м)	(м)	(м/с)	(м/с)	(м/с2)	(м/с2)	(кН)	(кДж)
0	0	0	0	0,004	0	0	0	0	0
0,25	0,001	0	0,001	0,008	0,004	0,016	0,016	47,06	1,94
0,5	0,003	0,001	0,002	0,018	0,004	0,04	0	42,64	0
0,75	0,0075	0,002	0,0055	0,028	0,004	0,04	0	42,64	-3,14
1	0,0145	0,003	0,0115	0,028	0,008	-5,6E-17	0,016	50	3,27
1,25	0,0215	0,005	0,0165	0,016	0,016	-0,048	0,032	58,83	-1,08
1,5	0,0255	0,009	0,0165	0,026	0,024	0,04	0,032	42,6	-2,58
1,75	0,032	0,015	0,017	0,022	0,028	-0,016	0,016	52,94	1,06
2	0,0375	0,022	0,0155	0,03	0,02	0,032	-0,032	44,11	14
2,25	0,045	0,027	0,018	0,056	0,024	0,104	0,016	30,86	-3
2,5	0,059	0,033	0,026	0,08	0,028	0,096	0,016	32,34	-2
2,75	0,079	0,04	0,039	0,096	0,032	0,064	0,016	38,22	17
3	0,103	0,048	0,055	0,128	0,068	0,128	0,144	26,45	-137
3,25	0,135	0,065	0,07	0,14	0,08	0,048	0,048	33,81	-130
3,5	0,17	0,085	0,085	0,132	0,12	-0,032	0,16	55,89	-7
3,75	0,203	0,115	0,088	0,12	0,136	-0,048	0,064	58,32	-10,6
4	0,233	0,149	0,084	0,116	0,136	-0,016	2,22E-16	52,94	-11
4,25	0,262	0,183	0,079	0,096	0,14	-0,08	0,016	64,72	-9
4,5	0,286	0,218	0,068	0,1	0,112	0,016	-0,112	47,06	0,1
4,75	0,311	0,246	0,065	0,104	0,112	0,016	4,44E-16	47,06	9
5	0,337	0,274	0,063	0,116	0,108	0,048	-0,016	35,28	-8
5,25	0,366	0,301	0,065	0,124	0,108	0,032	8,88E-16	44,11	7
5,5	0,397	0,328	0,069	0,136	0,128	0,048	0,08	47,06	6
5,75	0,431	0,36	0,071	0,152	0,124	0,064	-0,016	38,22	0
6	0,469	0,391	0,078	0,168	0,156	0,064	0,128	38,22	-2
6,25	0,511	0,43	0,081	0,18	0,152	0,048	-0,016	41,17	31
6,5	0,556	0,468	0,088	0,188	0,184	0,032	0,128	45,58	33
6,75	0,603	0,514	0,089	0,196	0,188	0,032	0,016	47,06	6
7	0,652	0,561	0,091	0,208	0,208	0,048	0,08	38,22	-6
7,25	0,704	0,613	0,091	0,208	0,212	1,78E-15	0,016	50	0
7,5	0,756	0,666	0,09	0,208	0,216	0	0,016	50	0
7,75	0,808	0,72	0,088	0,208	0,22	-1,8E-15	0,016	50	39
8	0,86	0,775	0,085	0,216	0,224	0,032	0,016	45,58	38
8,25	0,914	0,831	0,083	0,224	0,228	0,032	0,016	50	6
8,5	0,97	0,888	0,082	0,232	0,24	0,032	0,048	38,22	-5
8,75	1,028	0,948	0,08	0,24	0,24	0,032	1,78E-15	44,11	1
9	1,088	1,008	0,08	0,252	0,256	0,048	0,064	41,17	-2

Таким образом, можно говорить о некоторой условной приведенной жесткости автосцепного устройства, зависящей от скорости нагружения: она уменьшается с уменьшением скорости нагружения. В момент времени t = 7,5 сек. ускорение первого вагона равно нулю, усилие в автосцепке стабилизировалось, поэтому можно предположить, что практически весь состав пришел в движение. Принимаем для этого момента:

$$R = \Sigma m_в \cdot g \cdot w,$$

где R – усилие в автосцепке, изменяется в пределах 20-70 кН; w – полное удельное усредненное сопротивление всех вагонов; $\sum m_в$ – суммарная масса всех вагонов.

Если принять R = 50 кН; $\Sigma m_в = 4370 \cdot 10^3 кг$, то $w = \dfrac{R}{\Sigma m_в \cdot g} = 0{,}0012.$

Предлагаемый метод не требует больших затрат, прост и легко может быть выполнен силами работников локомотивного депо. Результаты этих экспериментов в виде таблиц и графиков можно использовать при инструктаже и обучении машинистов, в частности при уточнении требуемой степени сжатия состава, выборе режима ведения поезда. Считаем, что эту методику можно рекомендовать для применения на предприятиях локомотивного хозяйства.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Галиев И. И., Нехаев В. А. Метод расчета динамических сил в поезде // Исследование процессов взаимодействия объектов железнодорожного транспорта с окружающей средой / Омск. гос. акад. путей сообщ. Омск, 1995. С. 19–29.
2. Правила тяговых расчетов для поездной работы. М. : Транспорт, 1985. 287 с.
3. Новосельцев П. В. Разработка тягового транспортного средства для маневровых работ на малодеятельных станциях : специальность 05.22.07 : дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук к.т.н. Омск, 2006. 138 с. 61:06-5/2742.

Рябов И.М., Воробьев В.В., Упырь Р.Ю., Логунов А.С., Насников Д.Н.

УДК 629.027

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АМОРТИЗИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Разработка новых подходов в построении виброзащитных систем часто основана на введении в структуру механических колебательных систем дополнительных связей [1,2]. По-существу, предполагается возможность расширения элементной базы систем, когда к традиционным звеньям в виде в виде пружин и демпферов вязкого трения добавляются звенья, обеспечивающие двойное дифференцирование, одинарное и двойное интегрирование, чистое запаздывание. Общим свойством элементов расширенного набора является то обстоятельство, что входом для всех звеньев является смещение, а выходом – соответствующее усилие. В этом плане все типовые элементы расширенного набора [1] являются своеобразными пружинами, что позволяет использовать правила последовательных и параллельных соединений элементов для построения более сложных структур.

В работе [3] представлены некоторые результаты экспериментальной обработки предлагаемых конструктивных решений. Настоящая работа является продолжением упомянутых работ и раскрывает особенности методических позиций, важные для понимания изучаемых физических процессов. На рис. 1 представлена схема инерционно-фрикционного амортизатора с устройством преобразования движения [3], а также варианты

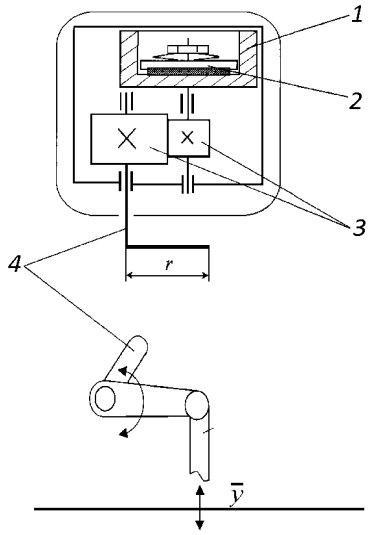


Рис. 1. Схема инерционно-фрикционного амортизатора с редуктором

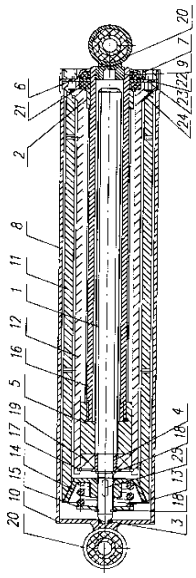


Рис.2. Инерционно-фрикционный амортизатор с винтовой передачей

Рис. 3. Опытная конструкция инерционно-фрикционного амортизатора с устройством преобразования движения в виде зубчато-реечной передачи

конструктивно-технических решений с использованием винтовых (рис. 2) и зубчато-рычажных (рис. 3) механизмов. Особенностью амортизаторов нового типа является использование динамических взаимодействий, вызванных относительным движением элементов механизмов.

I. Инерционно-фрикционный амортизатор с устройством для преобразования движения в виде редуктора (рис.1) имеет следующую конструкцию: 1 – маховик; 2 – фрикционная муфта; 3 – передача редуктора; 4 – рычаг с плечом r . На рис. 1 обозначено: $i_ф$ – передаточное отношение между входным звеном 4 и фрикционной муфтой 2, которая может устанавливаться либо на входном валу редуктора (между рычагом 4 и зубчатым колесом), либо на валу маховика 1; $i_р$ – передаточное отношение редуктора.

II. Инерционно-фрикционный амортизатор с устройством для преобразования движения в виде передачи «винт-гайка» (рис. 2). Амортизатор состоит из механической передачи, выполненной в виде инерционного механизма, цилиндрический корпус 8 которого соединен с нижней опорой 10 и внутри которого установлен маховик 11, выполненный в виде цилиндра. В нижней части корпуса 8 по его оси установлен с возможностью вращения винт 1, гайка 5 которого установлена в направляющем цилиндре 12 и закреплена на нижнем конце полого штока 16, подвижно установленного с возможностью телескопического движения в корпусе 8 и соединённого верхним концом с верхней опорой 9.

III. Инерционно-фрикционный амортизатор с реечной передачей (рис. 3) был выбран, исходя из простоты конструкции, в качестве опытного образца для проведения экспериментальных исследований. Конструкция амортизатора (рис. 3) была собрана из нескольких основных узлов: рулевой рейки 1 рулевого механизма автомобиля Mitsubishi «PajeroIII», диска сцепления (фрикционная муфта) 2 и тормозного барабана 3 (маховик) от автомобиля “ГАЗ 3110”. Шаг реечной передачи переменный. Диск сцепления прижимается к маховику пружиной 4, усилие поджатие которой (момент трения муфты), регулируется гайкой 5. Параметры опытной конструкции были следующими. Плечо действия возмущающей силы ($r_ш$ – радиус шестерни) – 10 *мм.* Максимально возможный ход рейки до ограничителя – 110 *мм.* Масса маховика – 8,5 *кг*, максимальный внешний радиус – 150 *мм* (0,15 *м*). Момент инерции маховика, согласно известным выражениям составит 0,108 $кг м^2$.

Расчетная схема экспериментальной установки приведена на рис. 4, а схема взаимодействия фрикционной муфты и маховика – на рис. 5.

На рис. 6. изображена расчетная схема механической колебательной системы с инерционно-фрикционным амортизатором в виде редуктора с рычажным звеном.

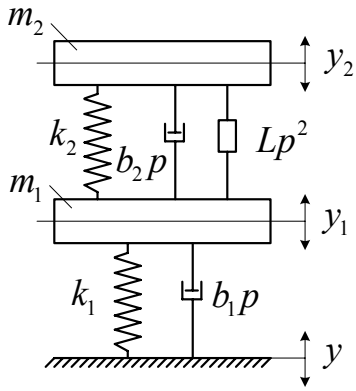


Рис. 4. Расчетная схема механической колебательной системы с инерционно-фрикционным амортизатором

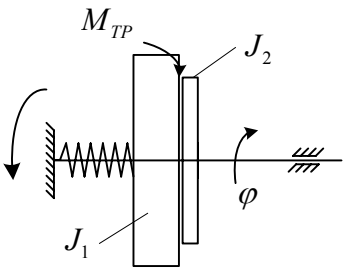


Рис. 5. Схема взаимодействия фрикционной муфты и маховика

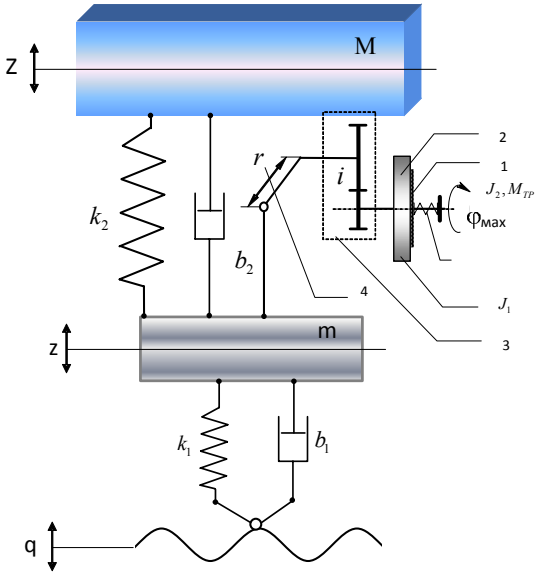


Рис. 6. Расчетная схема механической колебательной системы с инерционно-фрикционным амортизатором в виде редуктора с рычажным звеном: M - подрессоренная масса; m - неподрессоренная масса; k_2 - жесткость упругого элемента подвески; Z - абсолютное перемещение подрессоренной массы; q - кинематическое возмущение; φ_{max} - угол поворота маховика; k_1 - жесткость шины; b_1 - коэффициент демпфирования шины; b_2 - коэффициент демпфирования первой ступени подвешивания

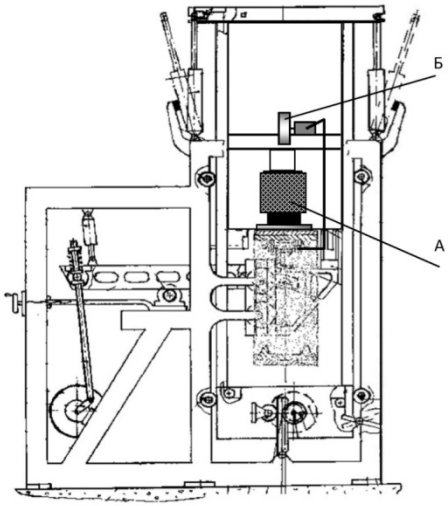


Рис. 7. Установка опытной конструкции инерционно-фрикционного амортизатора на вибростенде: А – пневмобалон (резинокордная оболочка); Б – инерционно-фрикционный амортизатор

На рис. 6 обозначены: 1 – фрикционная муфта ($M_{тр}$ - момент трения в муфте); 2 – маховик (J_1 - момент инерции маховика); 3 – редуктор (i - передаточное число редуктора); 4 – совокупность рычагов, преобразующих поступательное движение во вращательное.

Для обработки результатов экспериментальных исследований и параллельно проводимых численных экспериментов (прямое интегрирование дифференциальных уравнений) была разработана специальная программа расчета. Принципиальная схема опытной установки приведена на рис. 7.

Ряд результатов полученных при эксперименте представлен на рис. 8, 9, а также на рис. 10.

Методика проведения эксперимента, обработка экспериментальных данных и оценка достоверности данных проводилась в соответствии с критерием Фишера.

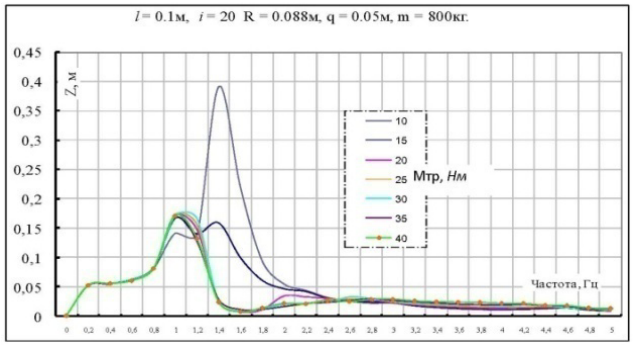


Рис. 8. Влияние момента трения муфты на АЧХ перемещений для инерционно-фрикционного амортизатора с редуктором в качестве устройства для преобразования движения

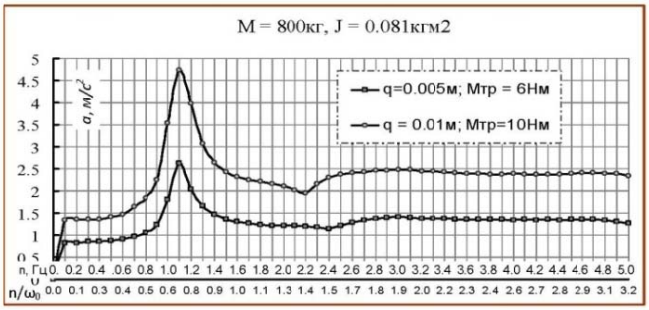


Рис. 9. АЧХ ускорений подрессоренной массы при движении по возмущающему профилю и использовании в подвеске инерционного амортизатора

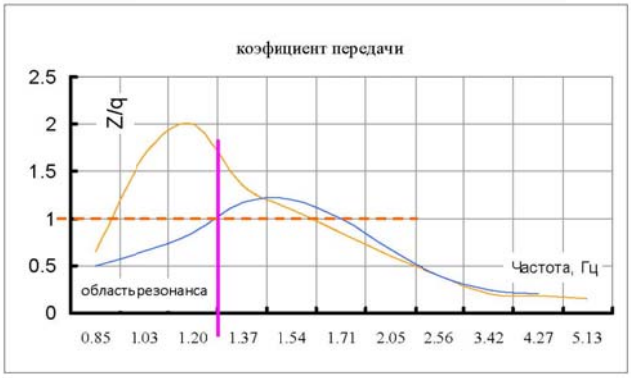


Рис. 10. Экспериментальные АЧХ вертикальных колебаний подрессоренной массы (АЧХ в относительных значениях)

Заключение. В целом испытанные опытные образцы показали работоспособность в лабораторных условиях. Наиболее эффективная работа наблюдалась в отношении инерционно-фрикционного амортизатора, расчетная схема которого приведена на рис. 4, а общий вид на рис. 3.

Эксперимент подтвердил предполагаемые особенности устройства, которые заключаются в наличии режимов динамического гашения и запирания системы на высоких частотах. Определенные расчетами основные параметры виброзащитной системы – частоты собственных колебаний и динамического гашения близко совпадают с экспериментальными (в пределах 3÷5%). Влияние первого каскада подвески (шины как упругодиссипативного элемента) является достаточно локальным и практически не влияет на работу второго каскада, в структуре которого размещается испытуемый образец устройства с преобразованием движения.

Работа амортизатора происходит таким образом, что фрикционная муфта с «запрограммированным» моментом сил сухого трения, на низких частотах обеспечивает работу маховика (момент инерции которого существенно выше, чем момент инерции фрикционной муфты) как единого целого. По мере увеличения частоты внешнего воздействия начинается процесс проскальзывания муфты относительно маховика. При дальнейшем увеличении частоты внешнего воздействия проскальзывание становится доминирующим процессом и параметры амплитудно-частотной характеристики определяются массоинерционными свойствами фрикционной муфты. Влияние сил сухого трения проявляется в сложном воздействии на процесс. В первую очередь, система на малых частотах ведет себя так, что отклонения от линейных представлений составляет до 30%, что дает основание предполагать наличии зоны нечувствительности, так и моменты срыва, сопровождающиеся фрикционными высокочастотными колебаниями. Во-вторых, существенное отличие от результатов расчетов на линейных моделях (с учетом сил вязкого трения) заключается в том, что с увеличением сил сухого трения, амплитуда колебаний уменьшается, что не противоречит теоретическим предположениям, но наблюдается сдвиг в сторону больших значений режимов резонанса. Это можно трактовать, как увеличение изначальной жесткости системы, вызванное влиянием сил сухого трения.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Динамический синтез в обобщенных задачах виброзащиты и виброизоляции технических объектов / С. В. Елисеев, Ю. Н. Резник, А. П. Хоменко, А. А. Засядко. Иркутск : Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2008. 523 с. ISBN – 978 – 5 – 96 –24 – 0291 –8.
2. Елисеев С. В., Хоменко А. П. Проблемы виброзащиты и виброизоляции технических объектов в работах Иркутской школы механиков // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2005. Вып. 1(15). С. 6–24.
3. Математическая модель подвески транспортного средства с инерционно-фрикционным амортизатором / И. М. Рябов, К. В. Чернышев, В. В. Воробьев, И. Н. Уруков // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. Вып. 1 (21). С. 22–31.

Ермошенко Ю.В., Фомина И.В. УДК 531.3

ДИНАМИЧЕСКОЕ ГАШЕНИЕ В ВИБРОЗАЩИТНЫХ СИСТЕМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ Г-ОБРАЗНЫХ РЫЧАЖНЫХ СВЯЗЕЙ

Динамическое гашение колебаний в последние годы стало одним из актуальных направлений в практике вибрационной защиты машин и оборудования от действия динамических нагрузок [1]. Известны многочисленные конструктивно-технические формы построения динамических гасителей, способы самонастройки параметров и автоматического управления динамическим состоянием виброзащитных систем [2,3]. В меньшей степени изучены возможности использования в структуре систем дополнительных связей различной природы, в частности, рычажных связей [1]. Такие связи могут быть реализованы на основе рычажных механизмов первого или второго рода, а также и в других конструктивных формах, например, с использованием Г-образных рычажных механизмов.

I. Рассмотрим динамический гаситель колебаний (рис. 1) в составе виброзащитной системы, обеспечивающей защиту объекта от вибраций со стороны основания.

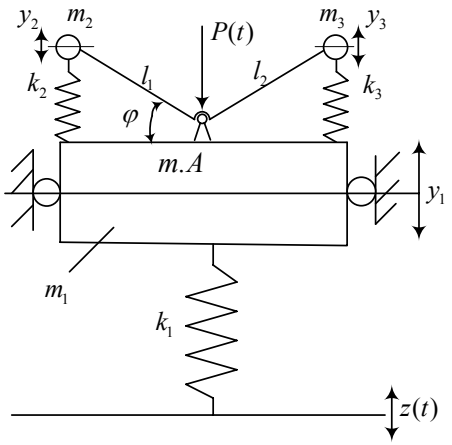


Рис. 1. Расчетная схема динамического гасителя колебаний рычажного типа

На рис. 1 приняты следующие обозначения: $P(t)$ - внешнее силовое возмущение; $z(t)$ - внешнее кинематическое возмущение; m_1 - масса объекта защиты; m_2 и m_3 - массы настраиваемых элементов; k_1, k_2, k_3 - коэффициенты жесткости упругих элементов; φ - угол поворота рычага относительно объекта защиты; l_1, l_2 - длины плеч рычага; y_1, y_2, y_3 - координаты массоинерционных элементов в абсолютном движении.

Предполагается, что колебательные движения в системе относительно положения равновесия достаточно малы, что позволяет использовать упрощенные линейные представления; полагается также, что силы трения малы.

Целью исследования является оценка возможностей создавать в системе режимы динамического гашения, в которых определяются настроечные параметры. Таковыми могли бы быть длины плеч рычага и величины масс элементов m_1 и m_2. Конструктивные варианты построения систем изменения названных параметров представляются вполне реализуемыми, также как и схемы сбора и обработки информации о динамическом состоянии системы. Запишем выражения для кинетической

$$T = \frac{1}{2}m_1\dot{y}_1^2 + \frac{1}{2}m_2\dot{y}_2^2 + \frac{1}{2}m_3\dot{y}_3^2 \qquad (1)$$

и потенциальной энергии

$$\Pi = \frac{1}{2}k_1\left(y_1 - z\right)^2 + \frac{1}{2}k_2\left(y_2 - y_1\right)^2 + \frac{1}{2}k_3\left(y_3 - y_1\right)^2. \qquad (2)$$

Введем ряд соотношений между координатами

$$y_2 = y_1 + \varphi l_1,\ y_3 = y_1 - \varphi l_2, \qquad (3)$$

где учтены особенности рычага второго рода в отношении изменения входного сигнала и по величине и по направлению Будем полагать, что элементы m_2 и m_3 имеют вертикальное движения, а изгиб рычага не принимается во внимание (хотя это не так и конфигурация расположения l_1 и l_2

имеет значение). С учетом (3) выражения (1) и (2) можно записать в виде

$$T=\frac{1}{2}m_1\dot{y}_1^2+\frac{1}{2}m_2\left(\dot{y}_1+\dot{\varphi}l_1\right)^2+\frac{1}{2}m_3\left(\dot{y}_1-\dot{\varphi}l_2\right)^2, \quad (4)$$

$$\Pi=\frac{1}{2}k_1\left(y_1-z\right)^2+\frac{1}{2}k_2\left(-\varphi l_1\right)^2+\frac{1}{2}k_3\left(\varphi l_2\right)^2. \quad (5)$$

Используя обобщенное уравнение Лагранжа 2 рода, получим уравнения движения системы

$$\begin{aligned}&\ddot{y}_1(m_1+m_2+m_3)+\ddot{\varphi}(m_2l_1-m_3l_2)+k_1y_1=k_1z+P,\\&\ddot{\varphi}(m_2l_1^2+m_3l_2^2)+\ddot{y}_1(m_2l_1-m_3l_2)+\varphi(k_2l_1^2+k_3l_2^2)=0.\end{aligned} \quad (6)$$

Структурная схема эквивалентной системы автоматического управления (САУ) показана на Рис. 2.

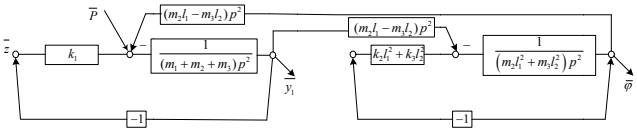


Рис. 2. Структурная схема, соответствующая системе на рис. 1

Найдем передаточную функцию системы при кинематическом возмущении

$$W_1=\frac{\overline{y_1}}{\overline{z}}=$$

$$=\frac{\left[\left(m_2l_1^2+m_3l_2^2\right)p^2+k_2l_1^2+k_3l_2^2\right]\cdot k_1}{\left[\left(m_1+m_2+m_3\right)p^2+k_1\right]\left[\left(m_2l_1^2+m_3l_2^2\right)p^2+k_2l_1^2+k_3l_2^2\right]-\left(m_2l_1-m_3l_2\right)^2p^4}. \quad (7)$$

Из выражения (7) можно найти частоту динамического гашения при кинематическом возмущении

$$\omega_{дин}^2=\frac{k_2l_1^2+k_3l_2^2}{m_2l_1^2+m_3l_2^2}=\frac{k_2+k_3b^2}{m_2+m_3b^2}, \quad (8)$$

где $b=l_2/l_1$ - передаточное отношение рычага второго рода (знак учтен при составлении выражения для потенциальной энергии). Частота собственных колебаний системы может быть найдена из частотного уравнения

$$\begin{aligned}&\left[\left(m_1+m_2+m_3\right)p^2+k_1\right]\left[\left(m_2l_1^2+m_3l_2^2\right)p^2+k_2l_1^2+k_3l_2^2\right]-\\&-\left(m_2l_1-m_3l_2\right)^2p^4=0.\end{aligned} \quad (9)$$

II. С целью расширения возможностей изменения динамического состояния в систему можно ввести дополнительные связи в виде элементарных звеньев двойного дифференцирования, как показано на рис. 3 [1]. В этом случае выражения для кинетической энергии примет вид

$$\begin{aligned}T=&\frac{1}{2}m_1\dot{y}_1^2+\frac{1}{2}L_1(\dot{y}_1-\dot{z})^2+\frac{1}{2}m_2\dot{y}_2^2+\frac{1}{2}L_2(\dot{y}_2-\dot{y}_1)^2+\\&+\frac{1}{2}m_3\dot{y}_3^2+\frac{1}{2}L_3(\dot{y}_3-\dot{y}_1)^2,\end{aligned} \quad (10)$$

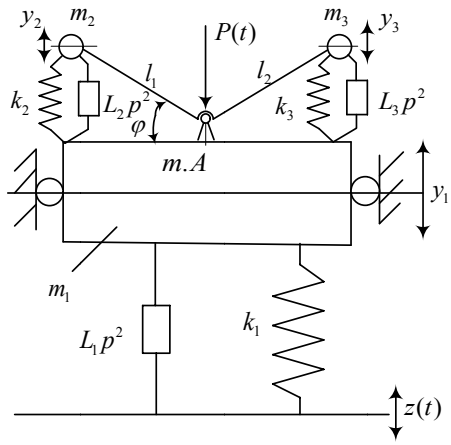


Рис. 3. Расчетная схема системы с дополнительными связями

а потенциальная энергия определится из выражения (2). Учитывая соотношения (3) , запишем выражение для кинетической энергии системы

$$\begin{aligned}T=&\frac{1}{2}m_1\dot{y}_1^2+\frac{1}{2}L_1(\dot{y}_1-\dot{z})^2+\frac{1}{2}m_2\left(\dot{y}_1+\dot{\varphi}l_1\right)^2+\frac{1}{2}L_2(-\dot{\varphi}l_1)^2+\\&+\frac{1}{2}m_3\left(\dot{y}_1-\dot{\varphi}l_2\right)^2+\frac{1}{2}L_3(\dot{\varphi}l_2)^2.\end{aligned} \quad (11)$$

Тогда система дифференциальных уравнений движения примет вид

$$\begin{aligned}&y_1(m_1+L_1+m_2+m_3)-L_1\ddot{z}+m_2l_1\ddot{\varphi}-m_3l_2\dot{\varphi}+k_1y_1=0;\\&\ddot{y}_1(m_1+L_1+m_2+m_3)+\ddot{\varphi}(m_2l_1-m_3l_2)+k_1y_1=\dot{z}L_1+k_1z;\\&\ddot{\varphi}(m_2l_1^2+L_2l_1^2+m_3l_2^2+L_1l_2^2)+\ddot{y}_1(m_2l_1-m_3l_2)+\varphi(k_2l_1^2+k_3l_2^2)=0.\end{aligned} \quad (12)$$

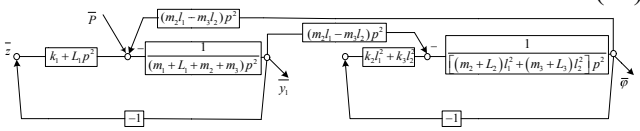


Рис. 4. Структурная схема эквивалентной САУ, соответствующей рис. 3

Передаточная функция системы при кинематическом возмущении системы определятся:

$$W_1=\frac{\overline{y_1}}{\overline{z}}=$$

$$=\frac{\left(k_1+L_1p^2\right)\left\{\left[(m_2+L_2)l_1^2+(m_3+L_3)l_2^2\right]p^2+k_2l_1^2+k_3l_2^2\right\}}{\left[\left[(m_1+L)+m_2+m_3\right]p^2+k_1\right]\left\{\left[(m_2+L_2)l_1^2+(m_3+L_3)l_2^2\right]p^2+k_2l_1^2+k_3l_2^2\right\}-(m_2l_1-m_3l_2)^2p^4} \quad (13)$$

Частота динамического гашения может быть найдена из частотного уравнения, взятого как числитель (13), однако в данном случае система будет иметь две частоты динамического гашения:

$$\omega_{дин1}^2=\frac{k_1}{L_1}, \quad (14)$$

$$\omega_{дин2}^2=\frac{k_2l_1^2+k_3l_2^2}{\left(m_2+L_2\right)l_1^2+\left(m_3+L_3\right)l_2^2}, \quad (15)$$

Одна частота динамического гашения создается звеном с передаточной функцией L_1p^2, а вто-

рая создается действием элементарных звеньев с передаточными функциями $L_2 p^2$ и $L_3 p^2$. Отметим характерную особенность поведения систем при малых частотах, полагая $p \to 0$. Так, из (7) следует, что

$$W_1 = \frac{\overline{y_1}}{\overline{z}} = \frac{\left[k_2 l_1^2 + k_3 l_2^2\right] \cdot k_1}{k_1\left[k_2 l_1^2 + k_3 l_2^2\right]} = 1. \qquad (16)$$

Такой же результат можно получить из выражения (13). При $p \to \infty$ из выражения (7) следует, что

$$W_1 = \frac{\overline{y_1}}{\overline{z}} \to 0, \qquad (17)$$

тогда как выражение (13) дает следующее:

$$W_1 = \frac{\overline{y_1}}{\overline{z}} = \frac{L_1\left[(m_2 + L_2) l_1^2 + (m_3 + L_3) l_2^2\right]}{(m_1 + L_1 + m_2 + m_3)\left[(m_2 + L_2) l_1^2 + (m_3 + L_3) l_2^2\right] - (m_2 l_1 - m_3 l_2)^2}, \qquad (18)$$

то есть на больших частотах при кинематическом воздействии система «запирается», а модуль W принимает некоторое значение, меньшее 1 (например, при $m_2 = 0{,}1 m_1$, $m_3 = 0{,}2 m_1$, $l_2 = 2 l_1$, $L_1 = 0{,}5 m_1$, $L_2 = 0{,}1 m_1$, $L_3 = 0{,}2 m_1$, можно получить, что $|W| \approx 0{,}3$).

III. Характер внешнего воздействия на объект защиты имеет важное значение, поскольку изменяется система динамических связей. Рассмотрим систему, состоящую из двух массоинерционных элементов m_1 и m_2, разнесенных с помощью Г-образного рычага с плечами l_1 и l_2, как показано на рис. 5. Такая расчетная схема может быть отнесена к одному из вариантов вышерассмотренного динамического гасителя при условии, что такой гаситель может либо прикрепляться, либо сниматься с объекта защиты.

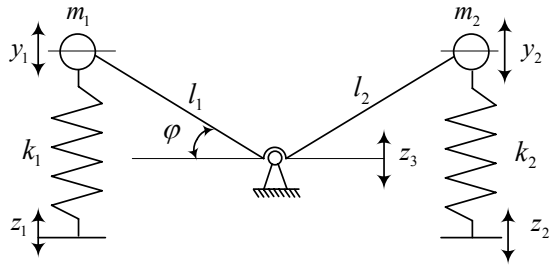


Рис. 5. Расчетная схема системы с разнесенными массами при комплексном кинематическом возмущении

Конструктивное использование такого присоединения может быть построено на использовании магнитной подставки.

Кинетическая и потенциальная энергия системы (рис. 5) может быть записана в виде

$$T = \frac{1}{2} m_1 (\dot{y}_1 - \dot{z}_3)^2 + \frac{1}{2} m_2 (\dot{y}_2 - \dot{z}_3)^2,$$
$$\Pi = \frac{1}{2} k_1 (y_1 - z_1)^2 + \frac{1}{2} k_2 (y_2 - z_2)^2. \qquad (19)$$

Используя соотношение $y_2 = -by$, где $b = l_2 / l_1$ и представляет собой отношение плеч рычага при малых углах φ и без учета наклона стержней, запишем дифференциальное уравнение движения системы

$$\ddot{y}_1 (m_1 + b^2 m_2) + y_1 (k_1 + b^2 k_2) =$$
$$= \ddot{z}_3 (m_1 - m_2 b) + k_1 z_1 - k_2 b z_2. \qquad (20)$$

Структурная схема системы приведена на рис. 6, откуда может быть найдена частота собственных колебаний

$$\omega_{соб}^2 = \frac{k_1 + k_2 b^2}{m_1 + m_2 b^2}. \qquad (21)$$

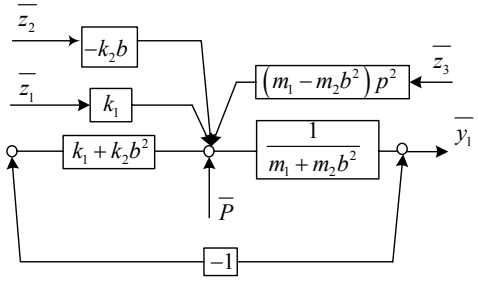


Рис. 6. Структурная схема механической системы с разнесенными массами

Что касается режимов динамического гашения и собственных частот, то необходимо принять во внимание соотношения параметров внешнего кинематического возмущения. Так, например, если $z_3 = z_1 = z_2 = z$, то частота динамического гашения определится по формуле

$$\omega_{дин}^2 = \frac{k_1 - k_2 b}{m_1 - m_3 b}. \qquad (22)$$

Полагая, что режимы динамического гашения связаны с оценкой числителя передаточной функции, получаемой из структурной схемы на рис. 4, представим возможные варианты в таблице 1.

Анализ данных, приведенных в таблице 1, позволяет сделать заключение о том, что режимы динамического гашения встречаются достаточно часто, однако, их появление зависит от особенно-

Виды передаточных функций при различных видах внешних возмущений Табл. 1

№ п/п	Сочетание параметров внешнего возмущения	Вид передаточной функции	Примечание
1	2	3	4
1	$z_3 = z_1 = z_2 = z$	$W = \frac{\overline{y_1}}{\overline{z}} = \frac{(m_1 - m_2 b)p^2 + k_1 - k_2 b}{(m_1 + m_2 b^2)p^2 + k_1 + k_2 b^2}$	$\omega^2_{дин} = \frac{k_1 - k_2 b}{m_1 - m_2 b}$
2	$z_3 = 0,\ z_1 = z_2 = z$	$W = \frac{\overline{y_1}}{\overline{z}} = \frac{k_1 - k_2 b}{(m_1 + m_2 b^2)p^2 + k_1 + k_2 b^2}$	спец. режим $k_1 = k_2 b$
3	$z_1 = 0,\ z_2 = 0,\ z_3 \neq 0$	$W = \frac{\overline{y_1}}{\overline{z}} = \frac{(m_1 - m_2 b)p^2}{(m_1 + m_2 b^2)p^2 + k_1 + k_2 b^2}$	спец. режим $m_1 = m_2 b$
4	$z_1 = 0,\ z_3 = z_2 \neq 0$	$W = \frac{\overline{y_1}}{\overline{z}} = \frac{(m_1 - m_2 b)p^2 - k_2 b}{(m_1 + m_2 b^2)p^2 + k_1 + k_2 b^2}$	$\omega^2_{дин} = \frac{k_2 b}{m_1 - m_2 b}$
5	$z_2 = 0,\ z_1 = z_3 \neq 0$	$W = \frac{\overline{y_1}}{\overline{z}} = \frac{(m_1 - m_2 b)p^2 + k_1}{(m_1 + m_2 b^2)p^2 + k_1 + k_2 b^2}$	$\omega^2_{дин} = \frac{k_1}{(m_1 - m_2 b)}$
6	$z_3 = 0,\ z_1 = 0,\ z_2 \neq 0$	$W = \frac{\overline{y_1}}{\overline{z}} = \frac{-k_2 b}{(m_1 + m_2 b^2)p^2 + k_1 + k_2 b^2}$	режима динамического гашения нет
7	$z_3 = 0,\ z_2 = 0,\ z_1 \neq 0$	$W = \frac{\overline{y_1}}{\overline{z}} = \frac{k_1}{(m_1 + m_2 b^2)p^2 + k_1 + k_2 b^2}$	режима динамического гашения нет

сти конструктивного оформления виброзащитной системы и особенностей системы внешних воздействий.

IV. Если в механическую систему ввести дополнительные связи $L_1 p^2$ и $L_2 p^2$, то есть элементарные звенья с передаточными функциям дифференцирования второго рода [1], то дифференциальное уравнение движения примет вид

$$\ddot{y}_1\left(m_1 + b^2 m_2 + L_1 + L_2 b^2\right)p^2 + k_1 + b^2 k_2 = \\ = z_3\left(m_1 - m_2 b\right)p^2 + \left(k_1 + L_1 p^2\right)z_1 - \left(L_2 p^2 + k_2\right)z_2. \quad (23)$$

Возможный спектр ситуаций, в которых, так или иначе, отражаются свойства режимов динамического гашения, можно оценить, используя уравнение (23). Так, например, при $z_3 = z_1 = z_2 = z$, получим, что

$$\omega^2_{дин} = \frac{k_1 - k_2 b}{\left(m_1 - m_2 b\right) + \left(L_1 - bL_2\right)}. \quad (24)$$

Отличие выражения (24) от (23) заключается в том, что режим динамического гашения определяется параметрами L_1 и L_2 устройств для преобразования движения, что расширяет возможности соответствующей настройки виброзащитных систем.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Динамический синтез в обобщенных задачах виброзащиты и виброизоляции технических объектов / Елисеев С. В., Резник Ю. Н., Хоменко А. П., Засядко А. А. Иркутск : Изд-во ИГУ, 2008. 523 с.
2. Елисеев С. В., Нерубенко Г. П. Динамические гасители колебаний. Новосибирск : Наука, 1982. 140 с.
3. Коловский М. З. Автоматическое управление виброзащитными системами. М. : Наука, 1976. 320 с.

Шастин В.И., Сливинская Л.П. УДК 669.1

КОМБИНИРОВАННЫЙ СПОСОБ ОЧИСТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Проблемы промышленной очистки поверхности изделий в различных отраслях, традиционно остаются в числе задач производства, требующих их решения и постоянного совершенствования. Большое разнообразие существующих видов загрязнений, продуктов эксплуатационно-технологического происхождения, защитных покрытий и т.п., подлежащих удалению по различным причинам, до настоящего времени не находят эффективного решения.

Существующие методы и средства очистки весьма разнообразны, в большинстве своем трудоемки, пожаро- и взрывоопасны, сопряжены со значительными ограничениями по вопросам безопасности жизнедеятельности и экологичности.

Среди большого разнообразия существующих и разрабатываемых методов и средств очистки важное место отводится различным комбинациям и приемам очистки, т.е. комбинированным способам воздействия на объект удаления. Это направление считается наиболее эффективным в аспекте рассматриваемой проблемы

Сочетание различных технологических приемов, основанных на физических, механических, электрохимических и пр. явлениях позволяет достичь высоких практически значимых результатов.

С развитием современных технологий в сфере совершенствования защитных и специальных покрытий, а также композиционных материалов, данная проблема становится еще более актуальной, в связи с возникающей необходимостью удаления их в процессе эксплуатации, технического обслуживания и диагностирования. В этой связи, существующие технологии и современные средства обработки, зачастую становятся малоэффективными, либо неприемлемы. Это часто становится причиной несоблюдения требований технологии и как следствие, снижения качества продукции, надежности и работоспособности изделий.

Настоящая работа посвящена разработке средств, предусматривающих комбинацию высокотемпературной лазерной очистки в сочетании с традиционными методами.

По своей природе и структурному строению объекты обработки можно рассматривать как материалы, имеющие композиционное строение. Свойства основных композиционных составляющих (покрытие, загрязнение), подлежащих удалению, и основа обрабатываемой детали (изделия), которые как правило, существенно отличаются друг от друга. Кроме этого, сами покрытия и загрязнения в большинстве своем, также имеют сложное структурное и химическое строение. Так например, лакокрасочные покрытия (ЛКП), состоят из нескольких слоев, в состав которых входят, шпатлевки, грунты, эмали и лаки, образующие, так называемые системы покрытий. Такие продукты удаления как окалина, также имеет сложное слоистое строение, состоящее из вюстита, магнетита и гематита [1]. Неоднородное строение свойственно целому ряду других видов покрытий и загрязнений.

Данные особенности объекта исследования и уникальные свойства лазерного излучения позволили создать некую технологическую схему комбинированного способа очистки поверхностей. Способ основан на сочетании нетрадиционного использования концентрированного источника лазерной энергии для этой цели с традиционными способами очистки, такими как химический, механический, струйный и т.д. Такая комбинация и последовательность приемов очистки на первом этапе лазерной обработки, обеспечивает нарушение однородности удаляемого покрытия, посредством нанесения параллельных каналов на глубину удаляемого слоя, либо в виде сетки, снижая тем самым его когезионные и адгезионные связи с поверхностью подложки. Данный вид предварительной обработки позволяет существенно активизировать и ускорить последующий второй этап очистки, путем воздействия на нижние слои химически активных сред, либо механическим путем.

Рассмотрим реализацию предлагаемого способа на примере удаления лакокрасочных покрытий (ЛКП). Известно, что современные наиболее устойчивые к воздействию окружающей среды ЛКП и системы на их основе, при необходимости их удаления становятся практически неуязвимыми, т.е. нерастворимыми по отношению к применяемым в настоящее время химическим растворителям и смывкам. К ним относятся покрытия на основе эпоксидных и полиуретановых смол. Необходимость их удаления, возникающая в процессе эксплуатации, зачастую предусматривает, кроме этого, жесткие условия к сохранности защищаемой поверхности. В таких случаях химические способы удаления становятся практически единственно приемлемыми в рамках предписываемых технологий. Однако, как показывает практика, данные средства малоэффективны и часто становятся причиной несоблюдения требований технологий, из-за невозможности полного и качественного их удаления при одновременном обеспечении условия неповреждаемости поверхности подложки.

Практическая приемлемость лазерного метода удаления покрытий, механизм взаимодействия и физическая модель их разрушения рассмотрены в работах [2,3]. Учитывая условия безопасного влияния на поверхность обрабатываемых изделий при использовании непрерывного излучения CO_2-лазера как наиболее приемлемого среди существующих технологических лазеров, была произведена оптимизация режимов обработки. В качестве параметра оптимизации принята скорость удаления покрытия движущимся источником нагрева, т.е. сфокусированным лазерным лучом. Для обеспечения удаления слоя покрытия эта зависимость, исходя из закона сохранения энергии, записывается, как:

$$V_{уд} = \frac{1-(\alpha+R)q_0 d_n}{\delta \cdot \rho \cdot Q_{уд}} \psi,$$

где $V_{уд}$ – оптимальная скорость удаления покрытия сфокусированным излучением CO_2 –лазера;

α - коэффициент поглощения излучения плазменным факелом;

R - коэффициент отражения;

q_o - мощность излучения лазера;

d_n – диаметр лазерного пятна в фокальной плоскости;

ρ - плотность покрытия;

$Q_{уд}$ – удельная энергия разрушения покрытия;

Ψ – безразмерный термохимический параметр, учитывающий влияние подложки.

Данная зависимость справедлива для полимерных покрытий нанесенных на какую-либо подложку. Расчетная кривая этой зависимости от толщины покрытия, как показали испытания, хорошо согласуется с экспериментальной кривой рис.1, при этом отклонения не превышают 6…8%.

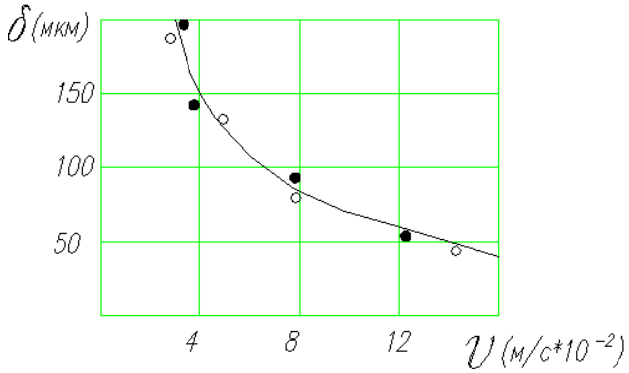


Рис. 1. Зависимость оптимальной скорости удаления эпоксидного покрытия от его толщины. • - расчетные данные; ○ – экспериментальные

Экспериментальная проверка соответствия кривых осуществлялась при удалении покрытия с металлической подложки излучением CO_2 – лазера мощностью 30 Вт. Этого уровня мощности достаточно для обеспечения технологических условий первого этапа обработки для большинства типов покрытий и загрязнений. Установки подобного типа отличаются высокой надежностью, экономичностью и просты в эксплуатации. Незначительная их мощность и высокий коэффициент отражения от металлических поверхностей для данной длины волны излучения, делают этот этап обработки как безопасный по отношению к поверхности подложки. Это очень важно по отношению к конструкционным материалам имеющим защитные покрытия, кроме ЛКП, например, обшивка и силовые элементы воздушного судна. Данные конструктивные элементы, как правило, имеют защитные оксидные и плакированные покрытия легко повреждаемые от воздействия механических нагрузок, что требует дополнительных технологических мер по обеспечению их сохранности при очистных работах.

Как показали всесторонние исследования данных материалов при воздействии на них лазерного излучения, обнаружено, что при нормированном энергетическом уровне излучения, каких-либо негативных последствий не наблюдается. Более того, с увеличением плотности мощности

имеет место увеличение защитных и эксплуатационных свойств этих материалов, в частности, обшивочного материала на основе алюминиевого сплава Д16-АТ. Наряду с повышением усталостной долговечности наблюдается увеличение коррозионной стойкости и ряда других конструкционных характеристик данного материала. Полученные результаты рекомендованы к практическому использованию.

Таким образом, первый подготовительный этап удаления покрытий, заключается в нарушении сплошности покрытия в виде нанесения на его поверхность мелких каналов, ширина которых соответствует диаметру сфокусированного пятна лазера. Равномерное по обрабатываемой поверхности расположение каналов на глубину, как минимум, верхнего трудноудаляемого слоя покрытия, обеспечивает свободный доступ химических растворителей к нижнему прилегающему к подложке слою. Учитывая, что нижний слой, которым является, как правило, слой грунтовки менее стоек к воздействию химических растворителей, чем верхние слои системы покрытия, а также наличие микропор и капилляров на границе «покрытие-подложка», обусловленных шероховатостью поверхности подложки, поэтому скорость адсорбирования растворителя и разрушения молекулярных связей в этой зоне достаточно велика. Аналогичный механизм разрушения наблюдается и при удалении загрязнений. В результате этого адгезионные связи покрытия с подложкой разрушаются, что приводит к отслаиванию верхнего практически нерастворимого слоя. Этот слой легко может быть удален механическим, струйным или иным методом очистки на втором этапе обработки.

Для исследования кинетики деструкции нижнего слоя покрытия и отслаивания верхнего, использовался метод замедленной киносъемки. На рис. 2 показана экспериментальная установка, состоящая из емкости 1 с органическим растворителем, микроскопа 2 с фотокамерой и образца 3. В емкость на стойках 4, помещался образец из стеклянной пластины с нанесенной на нижнюю её поверхность системой ЛКП на основе эпоксидной эмали и каналом образованным лазерным лучом. Емкость заполнялась растворителем до уровня, обеспечивающего контакт с покрытием. Съемка производилась со стороны прозрачной пластины.

На рис. 3 представлена кинограмма исследуемого процесса, который может быть описан трехстадийной физической моделью.

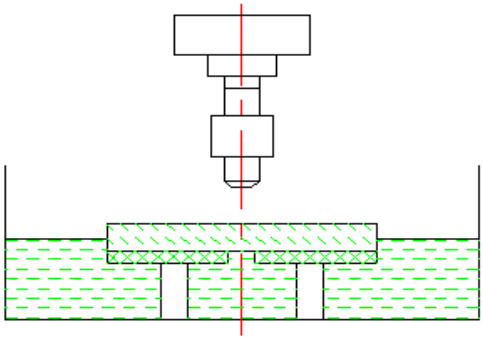


Рис. 2. Экспериментальная установка

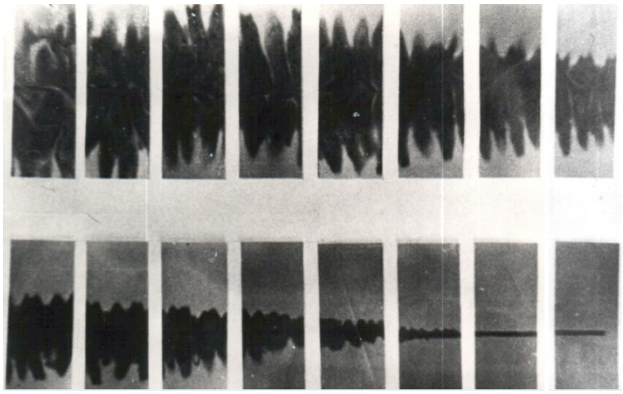


Рис. 3. Кинограмма процесса деструкции ЛКП

Из приведенной кинограммы следует, что первоначально проникновение растворителя ограничивается заполнением объема канала образованного лазером (кадр А1, первая стадия). С течением времени растворитель диффундирует по прилегающему к подложке нижнему слою ЛКП, т.е. по слою грунтовки, равномерно распространяясь по обе стороны канала. При этом наблюдается легкое потемнение цвета прилегающего к стеклянной пластине слоя, характеризующее на кинограмме адсорбирование растворителя без заметного отслаивания покрытия (кадр А2, вторая стадия процесса). Третья стадия отмечается началом и активным развитием процесса коробления и отслаивания верхних слоев покрытия от поверхности подложки (кадры А3 – Б8). Распространение фронта отслаивания относительно оси канала имеет определенную временную зависимость показанную в виде кривой на рис.4

Анализ кривой показывает, что распространение фронта деструкции начинается с некоторой задержкой по времени t_1 (1- я стадия), необходимым для наполнения объема канала и начала адсорбционного насыщения слоя грунтовки. Последующая 2-я стадия, определяемая временем t_2, характеризуется последующим адсорбированием растворителя на ширину слоя S без явно выра-

женного отслаивания верхних слоев покрытия. Третья стадия, сопровождается заметным увеличением скорости деструкции с последующим отслоением и короблением слоя всей системы покрытия.

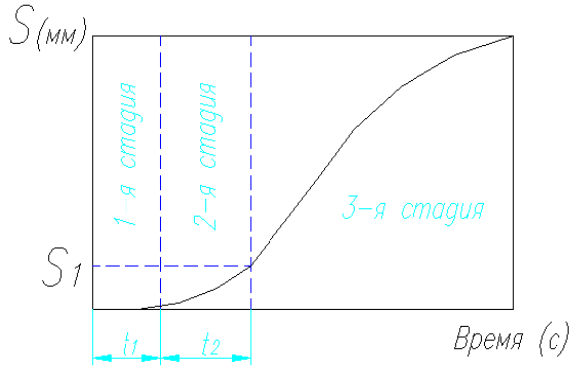


Рис. 4. Кривая деструкции нижнего слоя покрытия от времени

С точки зрения физики процесса, данное явление может быть объяснено проявлением эффекта Ребиндера [4,5]. Активная часть растворителя проникает в пленку в результате диффузионных процессов, обусловленных наличием в структуре покрытия и подложки микропор и мелких каналов. Это в свою очередь приводит к насыщению и последующему разрыву молекулярных связей в результате растворения контактирующего с подложкой слоя покрытия. На языке физической химии это означает, что молекулы растворителя адсорбируются и приводят к снижению поверхностного натяжения, т.к. эти процессы неразрывно связаны между собой. Снижение поверхностного натяжения в адсорбционно – активной среде закономерно уменьшает поверхностную энергию покрытия, что неизбежно снижает прочность твердого тела [6], т.е. нижнего слоя покрытия. Вследствие этого и за счет явления расклинивания происходит коробление и наблюдается увеличение скорости отслаивания в зоне действия третей стадии процесса, в рамках предложенной физической модели.

После полного отслаивания покрытия в межканальной зоне, образовавшийся шлам легко удаляется традиционными методами очистки. Исходя из рассмотренной модели, нанесение каналов целесообразно располагать в виде параллельных полос на равном расстоянии друг от друга. Время отслаивания для определенных типов покрытий и загрязнений определяется, в основном, расстоянием между каналами и химической активностью растворителя. Однако, учитывая большое разнообразие существующих покрытий и загрязнений, технологические параметры комбинированного способа очистки могут зависеть от множества факторов, в их числе: особенности структурного строения; взаимное расположение слоев по отношению к подложке; адгезионные и когезионные свойства покрытий и их слоев; их капиллярные и диффузионные свойства; режимы и условия формирования; макро и микрорельеф поверхности подложки; наличие дополнительных защитных покрытий и т.д.

Практически, учесть влияние всех этих факторов в комплексе и отдельно каждого, является весьма трудной и для данного случая едва ли рациональной задачей. Поэтому в реальных условиях достаточно проведения несложных лабораторных испытаний на образцах – свидетелях, позволяющих определить наиболее важный технологический параметр h – расстояние между каналами и подобрать определенный состав растворителя (смывки).

Исходя из проведенных исследований, среди большого разнообразия растворителей наиболее эффективными оказались органические растворители на основе хлорированных углеводородов. Кроме высокой химической активности, они обладают удачным сочетанием физико-химических свойств, таких как упругость паров, поверхностное натяжение, вязкость и т.п. Это сочетание, кроме положительного влияния, как химического реагента, позволяет активизировать процессы диффузии и растворения путем возбуждения в объеме раствора активизирующих ультразвуковых колебаний. Возникающие при этом гидродинамические колебания, даже в ограниченном объеме жидкости, позволяют активизировать процессы диспергирования частиц покрытия (загрязнения) и создания, благодаря этому, большей проникающей способности активной части растворителя в зону обработки. Кроме этого, осуществляется транспортировка более свежих порций растворителя к очищаемой границе и унос насыщенного состава растворителя из зоны растворения. Наиболее благоприятным для ультразвуковой очистки является диапазон частот от 20 до 40…50 Кгц. [7]. Повышению активности процесса способствуют также возникающие в жидкой среде кавитационные явления. В диапазоне данных частот наилучшие результаты очистки достигнуты при плотности звуковой мощности $2…3·10^4$Вт/м^2. В этих условиях произво-дительность данного метода может быть увеличена в 2…4 раза. Такой вид дополнительной обработки применим для наиболее трудно-удаляемых покрытий и загрязнений.

Реально данный механизм активизации может быть реализован путем обработки объекта в

жидкостной ванне, либо посредством непрерывной дозированной подачи растворителя на гигроскопичный материал закрепленный на рабочую поверхность ультразвукового излучателя как показано на рис. 5.

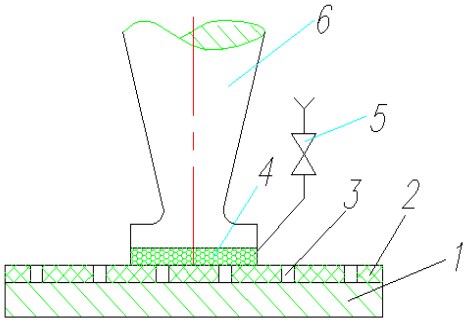


Рис. 5. Схема ультразвуковой активизации. 1 – подложка; 2 – удаляемое покрытие; 3 – каналы; 4 – гигроскопичный материал; 5 – устройство дозированной подачи растворителя; 6 – ультразвуковой излучатель.

Данная схема очистки позволяет максимально приблизить источник ультразвуковых колебаний к обрабатываемой поверхности, что существенно, повышает активизирующую способность ультразвука.

На основании проведенных лабораторных испытаний на рис. 6 показаны графики зависимости ширины удаленного слоя h от времени воздействия растворителя при ультразвуковой активизации и без неё. В качестве исследуемого покрытия использовалось эпоксидное ЛКП, образцами которого служили фрагменты обшивки самолета.

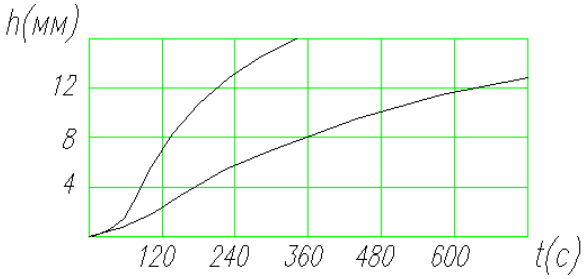


Рис. 6. Зависимость ширины удаляемого покрытия h от времени t. 1 – без применения ультразвука; 2 – с ультразвуковой активизацией.

В качестве источника ультразвуковых колебаний применялся ультразвуковой диспергатор УЗДЛ-1 с мощностью излучения 4…5 Вт, и с частотой колебаний 22 Кгц. Удаление образовавшегося шлама после его отслоения осуществлялось струей сжатого воздуха. Каналы на поверхность исследуемого образца наносились на всю толщину покрытия с учетом зависимости (1).

Таким образом, ультразвуковая активизация второго этапа комбинированного способа очистки, позволяет повысить проникающую способность растворителя и его химическую активность, увеличивая тем самым производительность способа.

Исходя из физической модели разрушения покрытий и результатов работы [2], рассматривается возможность послойного удаления покрытий, например, до слоя грунтовки, в этом случае гарантируется отсутствие влияния температурного воздействия на материал подложки. Данный вид обработки может найти применение при удалении покрытий, в том числе с поверхности неметаллических подложек, при обеспечении условия неповреждаемости. В этом случае скорость отслаивания и удаления покрытия практически не изменяется, учитывая незначительную задержку по времени, необходимую для диффузионного насыщения неудаленного нижнего слоя покрытия в объеме канала.

Послойное удаление покрытий излучением лазера, при размерной контурнолучевой обработке, может быть использовано также при восстановлении локальных участков покрытий при их поверхностных разрушениях, таких как шелушение, отслаивание и т.п.

Кроме химического воздействия на втором этапе очистки возможно применение механических, струйных, гидро и пневмоабразивных способов удаления межканальных участков покрытий и загрязнений. В этом случае необходимо произвести подбор и оптимизировать величину параметра h и угла наклона рабочего органа к обрабатываемой поверхности.

На основе полученных в работе результатов и модельных представлений можно сделать следующие выводы.

1. Впервые предложен, теоретически и экспериментально обоснован комбинированный способ очистки поверхностей изделий от наиболее трудноудаляемых покрытий и загрязнений. Способ защищен авторским свидетельством.

2. Использование излучения CO_2 –лазера небольшой мощности (20…30 Вт.) для предварительной обработки очищаемой поверхности, обеспечивает разрушение адгезионных и когезионных связей удаляемых объектов. Благодаря этому становится возможным эффективное применение химических и иных традиционных способов окончательной очистки. Предложенная в работе расчетная зависимость позволяет обеспечить оптимальный режим обработки при условии безопасного влияния на поверхность подложки.

3. Разработаны модельные представления кинетики деструкции нижнего слоя покрытия, на их основе даны практические и технологические рекомендации по оптимизации и активизации процесса очистки.

4. Экспериментально подтверждена целесообразность ультразвуковой активизации этапа химической обработки очищаемой поверхности, предложены конструктивные решения и наиболее оптимальные параметры работы излучателя.

5. Рассмотрены различные комбинации приемов очистки, с учетом обеспечения условия неповреждаемости поверхности обрабатываемых изделий.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Смирнов Н. С., Простаков М. Е., Липкин Я. М. Очистка поверхности стали. 2-е изд. перераб. и доп. М. : Металлургия, 1978. 232 с.
2. Шастин В. И., Белунник А. И., Лоцманов Г. С. Удаление лакокрасочных покрытий излучением лазера // Лазерные технологические установки и перспективы их применения на предприятиях отрасли : материалы совещ. М., 1986. 83 с.
3. А. С. 1374523 (СССР) МКИ В 08 В 7/04. Способ очистки поверхностей от труднорастворимых слоистых покрытий / авт.-изобрет. Шастин В. И. ; Иркут. филиал по заоч. обучению КИИГА ; заявл. 10.07.86 № 4088573.
4. Горюнов Ю. В., Перцов Н. В., Сумм Б. Д. Эффект Ребиндера. М. : Наука, 1966. 128 с.
5. Лихтман В.И., Щукин Е.Д., Ребиндер П.А. Физико-химическая механика металлов. М.: - АН СССР,1962. – 156с.
6. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика. Новая область науки. – М.: Знание, 1958. 64с.
7. Попилов Л.Я. Ультразвуковая интенсификация очистки и гальванических процессов. – М.: Машиностроение, 1969. – 187с.

Xiong Guanggyao, Zhou Zejie, He Bolin, Zhao Longzhi УДК 669.1.017

EFFECT OF RARE EARTH ON THE QPQ TREATMENT ON THE DIES STEEL

Introduction.

With the development and application of new hot forging dies steel with excellent performance, the 5CrMnMo steel is falling into disuse in some developed countries, but the steel has not only good toughness, tensile strength and wear resistance, but also good hardness and high temperature mechanical properties. It is used to produce kinds of suffer and mini-type forging dies. And it is a kind of cheap and economical material for hot forging dies [1]. The rigidity and the wear resistance, the good toughness and anti-corrosion have a direct effect on the use and life of dies. Ordinary quenching and tempering process is so limited that it can not meet the requirements of use. The failure and damage occurs mostly from on the surface or beginning from the surface, in order to improve the life, the reasonable surface strengthening technology which can improve the material potential, improve surface performance and prolong the use life of dies was used. The layer treated on QPQ had lots of advantages such as high rigidity, high wear resistance and a little distortion. The QPQ was used on treating hot forging dies, which can improve the use life. By increasing the depth of layer to enhance the support capacity of dies, reduce processing temperature heat treatment to reduce deformation, which ensure the accuracy of dies and application in practice.

The rare earth (RE) with the atomic structure and the activity has widely used in many fields. Since the 1960s, researchers began to use RE in the chemical heat treatment for steel. After the 1980s, the research on the RE in the chemical heat treatment appeared upsurge in our country and a lot of fruits had been applied in production [2].

In order to improve the production efficiency and the quality of the layer, the RE was used in the QPQ process, the results showed that the speed of nitriding was highly improved and the performance of nitriding layer and the nitriding structure was improved.

1 Experiment

1.1 The experimental material and equipment

The material was 5CrMnMo steel, the chemical component is shown in table 1, the samples were incised by WEDM, the size was 7×7×30mm, the up and

Table 1

The chemical components of 5CrMnMo steel

Element	C	Si	Mn	Cr	Mo	S	P
Content	0.54	0.37	1.38	0.72	0.25	0.014	0.025

down plane were polished, QPQ salt-bath and mix RE metal.

The experiment was done in a crucible furnace with the size was Φ150×250mm, the furnace power was 3KW, and the material was graphite, the temperature was measured by WRP-120 platinum and rhodium - platinum thermocouple, and the temperature controlled by KSW-8D-16 automatic temperature control.

1.2 The experiment craft process

The content of CNO^- in nitriding furnace had direct effect on the quality of the QPQ treatment, the hardness was well when the content of CNO^- was 34% to 38 %. In this experiment, the content of CNO^- was 36%, then four groups of RE (the content were 0 percent, 1 percent, 3 percents, 5 percents and 7 percents) were added at 560°C, the craftwork experiment was done at 560°C for three hours. The microstructure observation and micro-hardness measurement of these samples were done finally, according to the results, the optimum amount of Rare Earth was determined.

1.3 The microstructure observation and micro-hardness measurement

The surface performance and micro-structure were observed on the JSM—6360LA SEM, the thickness of nitriding layer was measured on SMV special test software on the JSM—6360LA SEM. The sample rigidity was measured on the 401MVA Microscopic Vickers hardness tester under the test load of 100 gf and keep on for 10 second, the surface Microscopic Vickers hardness $HV_{0.1}$ (three average value) of nitriding layer was measured. The glide wear experiment was done on the M-2000 wear experiment machine and the grinding of standard samples without lubrication sliding friction, the load was 490N, the rotate speed was 200r/min, according to the samples weight loss (average of two samples) to compare their wear resistance.

2. The results and analysis

2.1 The effects of RE on nitriding layer thickness and rigidity

Table 2 shows the relative of 5CrMnMo steel which was treated in different RE contents for 3 hours at 560°C between the nitriding layer thickness and surface hardness. It was shown from the microstructure of nitriding layer that RE had obvious favor in the infiltration. With the enhancement of the RE contents, the nitriding speed improved. When the contents came to 3% to 5%, the speed was the highest. The content of RE in RE-QPQ salt-bath exist an optimum value, That is to say, when the RE is 3 to 5%, the layer thickness (28 ~ 30 μm) was thicker than those materials without the RE (15 ~ 20 μm). And the hardness of the surface layer has emerged in a similar trend, at 3 percent the hardness was the highest. The results indicate that the optimum value of RE in RE-QPQ salt bath was 3% to 5%, the nitriding thickness increased obviously, and the rigidity of layer surface improved, the $HV_{0.1}$ rigidity was 1139 to 1140 which was the two time higher than the $HV_{0.1}$ (521) of the substrate. Thereby, it was not difficult to conclude that the reason that the thickness and the rigidity of the nitriding layer increased was the the proper amount of RE had help to infiltration in the RE-QPQ. The nitriding speed had improved 30 percents, the nitriding structure was also improved, the layer became thick, consequently, the layer rigidity was improved and the distribution of the nitriding layer rigidity was also improved.

2.2 The effect of RE on nitriding layer micro-structure

Fig.1 shows the micro-structure of nitriding layer section of 5CrMnMo hot dies steel for 3 hours at 560°C without RE. Fig2 and Fig3 show the micro-structure of nitriding layer section on 5CrMnMo hot dies stee with 3% and 5% of the total quality of the RE-QPQ salt bath, respectively. From Fig. 1 to Fig. 3, we can see that the salt bath without RE, some large coarse grains appear, and infiltrated along the

Tabel 2

The effects of RE chroma on nitriding layer thickness and rigidity

RE chroma	0	1	3	5	7
Layer thickness	19.2	22.9	26.6	27.1	23.7
Micro-rigidity	1032	1090	1139	1140	1067

grain boundary. But nitriding layer was thick with the RE-QPQ salt bath treatment. The reason was probably the RE inproved the activity of N atom, and changed the appearance of $Fe_{2-3}N$, and then the structure was refined.

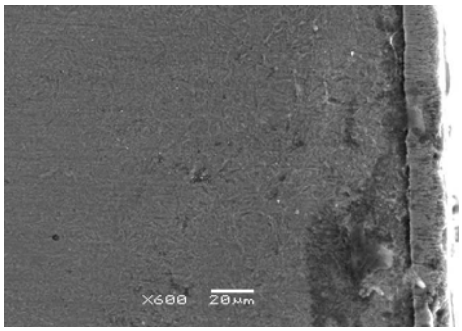


Fig. 1. The SEM of rigidificate layer 600× nitring temperature : 560℃ nitriding time : 3h treatment craftwork : QPQ salt bath

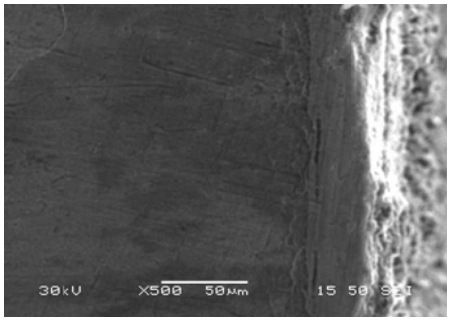


Fig. 2. The SEM of rigidificate layer 500× nitring temperature : 560℃ nitriding time : 3h treatment craftwork : QPQ salt bath and 3%RE

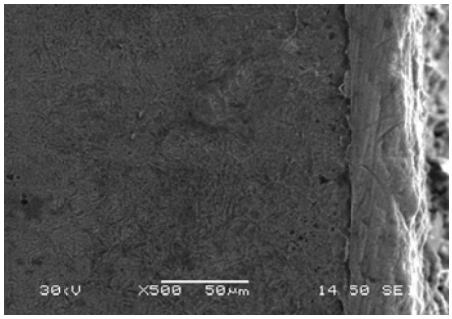


Fig. 3. The SEM of rigidificate layer 500× nitring temperature : 560℃ nitriding time : 3h treatment craftwork : QPQ salt bath and 5% RE

2.3 The effect of RE on nitriding layer wear resistance

The wear-resistance test of 5CrMnMo steel was done on the three samples treated for 3 and 4 hours at 560°C, some were tested in QPQ, others in the RE-QPQ. The wear-resistance results were shown in table 3. From table 3, it is obviously that the wear-resistance of the samples which were treated in RE-QPQ was two times higher than the samples in ordinary QPQ. The reason was lots of compounds of ε laves structure which was high rigidity and exiguous formed on nitriding layer with RE-QPQ. Furthermore, the rare-earth playing important role in micro-alloy can improve the surface layer structure. The solid solution strengthening, and the formation of compounds, such as refined grains can improve tensile strength and wear resistance.

2.4 The mechanism of RE on nitriding layer.

The QPQ technical principle is nitrocarburizing and oxidation processes compound, the structure of the compound mostly is infiltration compounds $Fe_{2-3}N$ and oxide Fe_3O_4. The reasons why the nitriding speed is improved and the nitriding layer structure is changed in the RE-QPQ mainly is as following:

Firstly, the active RE atom increased the nitriding reaction speed, more active N atom and C atom appear which improved the nitrogen potential in salt bath and increased the flux number of N and C to diffuse from the surface.

Secondly, the infiltration of the large-size rare earth atoms in the crystal RE enrichment cause huge iron atom lattice distortion, which is favor to nitrogen and carbon atoms transition and Segregate in the layer in priority, then the C and N concentration in the layer is enhancing. As the high C, N concentration gradient appears on the surface the speed infiltration and [C] and [N] atomic proliferation is promoting.

Thirdly, the permeation of the RE atom produce the vacancy in its periphery, which caused the density of the vacancy and the dislocation increase, so the

Table 3

The wear-resistance test of 5CrMnMo steel

craftwork	Original mass/g	Treated mass/g	Wear mass/g
No treatment	10.7696	10.7647	0.0049
QPQ，3h	10.8078	10.8066	0.0012
3%RE and QPQ，3h	10.9980	10.9969	0.0011
5%RE and QPQ，3h	10.6548	10.6542	0.0009

multi-channel for the nitrogen atom proliferation is provided. Above three factors all can play the role in urging to infiltrate.

Finally, the rare earth permeating in the steel is favor to refine the superficial crystal grain and the micro alloy. After the infiltration the superficial crystal grain to be thin. The main reason that after permeating the steel in the substrate, the rare earth atom gathered in the crystal boundary and formed the special compound, which strengthened crystal boundary and retarded carbide to separate out from the crystal boundary, the modified carbide shape, the distribution and the crystal boundary condition make the layer structure, the performance was improving. But the permeation of the excessive rare earth atom caused the stress field made of the distortion the crystal lattice, the crystal boundary, the vacancy, the dislocation formed mutually restricts appears, which caused the proliferation atom to break through the nail difficultly, then the proliferation nitrogen atom is retarding. Therefore, the RE-QPQ salt bath only having the right amount of rare earth, can improve the properties of the infiltration layer.

3 Conclusions

(1) RE-QPQ Salt bath with the right amount rare earth (3 ~ 5% salt bath gross weight), may enhance infiltrates speed, increase the thickness of the nitriding layer, the layer microstructure performance and enhances the hardness and the wear-resistance, but the brittleness decrease.

(2) The craft of the RE-QPQ salt bath is so simply, stable that it can be applied easily in the practice, which may enhance the dies service life.

Acknowledgment

The word was Sponsored by Opening to the Foundation Key Laboratory of Conveyance and Equipment, Ministry of Education .

REFERENCES

1. The heat treatment craft and structure analysis of 5CrMnMo steel // China mechanical engineering. 1995. V. 6(5). P. 55–56.
2. Li Hui-you, Luo De-fu. QPQ salt bath compound processing technology // Mechanical industry publishing. Beijing. 1997. V. 43. P. 245.
3. Liu-lei. The rare earth infiltrates the layer structure and the performance influence to the molding tool steel with vanadium boron // RE. 1998. V. 18(3). P. 39–43.
4. Huang Na-chan. Rare-earth element in superficial project technology application // Metal heat treatment. 2003. V. 28(4). P. 7–10.
5. Yin Fu-cheng, Hong Zhen-sheng. The research on Rare earth soft nitriding craft application // Hot-working craft.1996. V. (5). P. 30–33.
6. Yu Zhong-shen, Chu You-yi. RE in steel.Beijing, Metallurgical industry publishing.1982.
7. Yin Fu-cheng. the nitriding layer effects on the molding tool steel at low temperature in rare earth nitrogen carbon // Mechanical engineering material. 2000. V. (1). P. 17–19.
8. Wang Hai-bo. Rare earth in thermochemical treatment action mechanism // Surface technology. 1990. V. 28(2). P. 23–25.

Лукьянов Д.А., Куцый Н.Н. УДК 629.3.015

ИССЛЕДОВАНИЕ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОТОР-ВЕНТИЛЯТОРОВ ЭЛЕКТРОВОЗОВ

Опыт эксплуатации электровозов нового поколения ЭП-1 показал, что межремонтный ресурс вспомогательных машин (мотор-вентиляторов, мотор-компрессоров) этих электровозов в 1,5 – 2 раза меньше расчетного. Например, 50% электродвигателей вспомогательных машин выходят из строя при пробеге 150-300 тыс. км., а еще 23% при пробеге 300 – 450 тыс.км. вместо расчетных 600 тыс.км.[1]. Проведенные исследования показали, что уровень вибрации мотор-вентиляторов элек-

тровозов, в 1,5 – 2 раза выше допустимого, что коррелируется с пропорциональным уменьшением их межремонтного ресурса [2,3].

По данным статистики [2], отказы вспомогательных машин составляют до 15% от общего числа отказов электровозов. Причинами повреждений мотор-вентиляторов (МВ) являются: неисправность подшипников (30-40 %); пробой изоляции и межвитковое замыкание статора (25-35 %); выплавление ротора (10-15 %); отгар выводящих проводов (10–15 %). По статистике ВСЖД по электровозам ВЛ80(т,р) смена МВ по неисправности подшипников в среднем происходит в 30% и более случаев, в то время как в электровозе ЭП1 за период 2005 – 2007 гг. из 158 случаев замены МВ – 152 были по неисправности подшипников. Причем, большинство замен подшипников происходит на мотор-вентиляторах №4 (75 %) и №3 (25%), на которых зарегистрированы аномально высокие значения вибрации, даже по сравнению с МВ №1 и МВ №2. Это можно объяснить возможными резонансными явлениями в опорах МВ, влиянием рядом стоящего виброрующего оборудования (поршневых мотор-компрессоров). Попытка ремонтных служб локомотивных депо установки резиновых прокладок между опорами МВ и рамой корпуса электровоза не привели к улучшению ситуации.

Поэтому актуальной является задача исследования резонансных явлений в МВ в различных режимах работы, разработки адекватной математической модели подвески МВ, определения полного спектра кинематического и силового возмущений, разработки программного обеспечения моделирования работы МВ при различных воздействиях и оптимизации параметров подвески по критерию минимума вибронапряженности в точках установки подшипников.

1. Математическая модель мотор-вентилятора

Будем рассматривать мотор-вентилятор, как твердое тело, прикрепленное через упругую подвеску к основанию и имеющее 6 степеней свободы (обобщенных координат q_j, $j=1,...,6$): 3 поступательных ($q_1 = x$, $q_2 = y$, $q_3 = z$) и 3 вращательных ($q_4 = \alpha = \alpha_x$; $q_5 = \beta = \beta_y$; $q_6 = \gamma = \gamma_z$). Система координат $OXYZ$ связана с основанием (рис.1), а $CX_1Y_1Z_1$ с центром масс МВ. Продольная ось МВ CX_1 ориентирована продольной осью параллельно оси ротора, а оси CX_1; CY_1; CZ_1; совмещены с главными центральными осями инерции МВ.

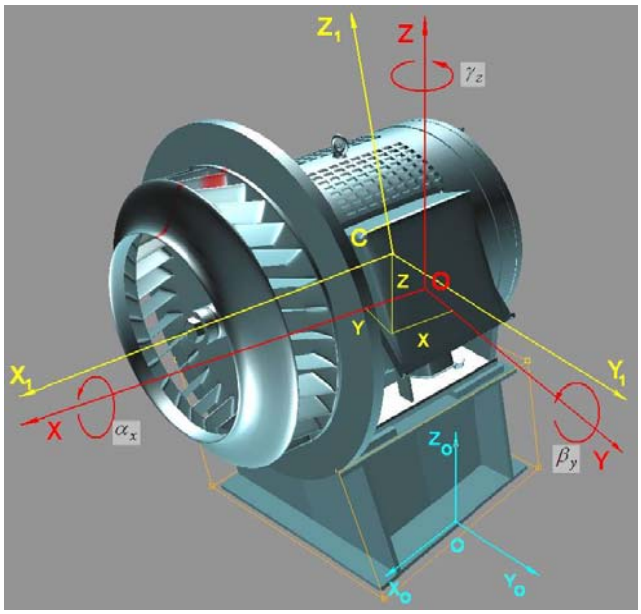


Рис. 1. Система координат МВ

Система координат $OXYZ$, совпадает с системой координат МВ - $C_1X_1Y_1Z_1$ в положении равновесия при отсутствии линейных и вибрационных ускорений. Вес МВ, линейные и вибрационные нагрузки передаются и воспринимаются через подвеску МВ, в рассматриваемом случае – опору коробчатого сечения. Так как опора имеет конечную и распределенную жесткость по всем обобщенным координатам, то в первом приближении можно заменить ее 4-мя приведенными упругими элементами, расположенными по углам опоры, имеющими жесткость в трех направлениях осей координат каждого упругого элемента, в сумме формирующими аналогичную жесткость по обобщенным координатам, что и реальная коробчатая опора. Считая линейные и угловые колебания МВ малыми, запишем матричное дифференциальное уравнение колебаний МВ как твердого тела при гармоническом силовом возмущении [3]:

$$A\ddot{q} + B\dot{q} + Cq = Q \cdot e^{i\omega t}, \qquad (1)$$

где: A - диагональная матрица инерции твердого тела $A = diag\{a_{11}, a_{22}, a_{33}, a_{44}, a_{55}, a_{66}\}$; B, C - матрицы коэффициентов демпфирования b_{kr} и жесткости C_{kr} $(k, r = 1,2,...,6)$ подвеса; Q – вектор комплексных амплитуд обобщенных возмущающих сил; ω - частота возбуждения.

Кинематическое возмущение учитывается в разрабатываемой модели МВ в виде вибросмещения и виброскорости основания в соответствии с уравнением:

$$A\ddot{q} + B(\dot{q} - \dot{q}_0) + C(q - q_0) = Q \cdot e^{i\omega t}; \qquad (2)$$

Здесь $q_0(x_0;y_0;z_0;0;0;0)$; $\dot{q}_0(\dot{x}_0;\dot{y}_0;\dot{z}_0;0;0;0)$ - векторы вибросмещения и виброскорости основания.

Диагональная матрица инерции A в уравнениях (1), (2) включает элементы: $a_{11}=a_{22}=a_{33}=m$, $a_{44}=\mathrm{J_x}$; $a_{55}=\mathrm{J_y}$; $a_{66}=\mathrm{J_z}$, где m - масса мотор-вентилятора; $\mathrm{J_x},\mathrm{J_y},\mathrm{J_z}$ - моменты инерции мотор-вентилятора относительно осей OX, OY и OZ.

Главные оси жесткости образуют систему координатных осей $O_sX_sY_sZ_s$ каждого s-го приведенного упругого элемента (в рассматриваемом случае $s=4$). Обозначим координаты точек крепления и коэффициенты жесткости s-го упругого элемента через X_S, Y_S, Z_S и C_{xs}, C_{ys}, C_{zs}, ориентацию осей s - ой системы зададим направляющими косинусами углов между главными осями жесткости амортизаторов и осями МВ. Элементы матрицы жесткости C выражаются через коэффициенты жесткости всех упругих элементов, образующих упругий подвес по уравнениям, приведенным в работе [4].

Матрица коэффициентов демпфирования B имеют структуру, подобную матрице коэффициентов жесткости C, а элементы матрицы можно определять, используя приближенные матрицы A и C [5]:

$$B=\lambda_1\cdot A+\lambda_2\cdot C. \qquad (3)$$

Коэффициенты λ_1 и λ_2 в (3) вычисляются из системы 2-х линейных уравнений:

$$\begin{cases} b_1=\lambda_1 m_1+\lambda_2 c_1, \\ b_2=\lambda_1 m_2+\lambda_2 c_2. \end{cases}$$

где пара коэффициентов демпфирования b находится для каждой пары значений c и m из уравнения:

$$b=2\gamma\sqrt{c\cdot m},$$

где $\gamma=0{,}05-0{,}3$ - относительный коэффициент демпфирования подвески.

Уравнения движения МВ и условия рационального монтажа упругого подвеса

Для принятой схемы приведения подвески МВ координаты точек крепления и углы ориентации 4-х упругих элементов (УЭ), представлены на рис.2. Обозначим продольную жесткость упругих элементов $C_{zs}=C_z$, тогда поперечная жесткость упругих элементов будет $C_{xs}=C_{ys}=\lambda C_z$, где $\lambda=0\div1$ - коэффициент отношения поперечной и продольной жесткостей. Подставляя значения координат точек крепления, направляющие косинусы и значения жесткостей упругих элементов в уравнения коэффициентов жесткости всех УЭ, образующих упругий подвес [4], и учитывая, что мотор-вентилятор симметричен относительно оси X, т.е. $a_1=a_2=a$, получим:

$$C_{11}=C_{22}=4\lambda C_z; \qquad C_{16}=C_{61}=0;$$
$$C_{33}=4C_z; \qquad C_{34}=C_{43}=0;$$
$$C_{44}=4C_z(a^2-\lambda h^2); \qquad C_{45}=C_{54}=0;$$
$$C_{55}=2C_z(b_1^2+b_2^2+2\lambda h^2); \qquad C_{56}=C_{65}=0;$$
$$C_{66}=2\lambda C_z(b_1^2+b_2^2+2a^2); \qquad C_{12}=C_{21}=0;$$
$$C_{15}=C_{51}=-4\lambda C_z h; \qquad C_{13}=C_{31}=0;$$
$$C_{24}=C_{42}=4\lambda C_z h; \qquad C_{23}=C_{32}=0;$$
$$C_{26}=C_{62}=2\lambda C_z(b_1-b_2); \qquad C_{14}=C_{41}=0;$$
$$C_{35}=C_{53}=-2C_z(b_1-b_2); \qquad C_{25}=C_{52}=0;$$
$$C_{46}=C_{64}=2\lambda C_z h(b_1-b_2); \qquad C_{36}=C_{63}=0.$$

Матрица коэффициентов жесткости примет

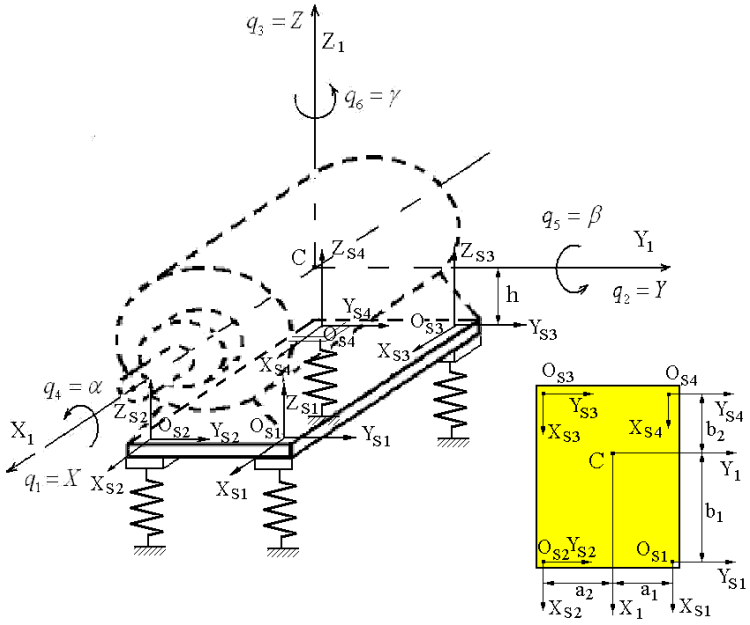


Рис. 2. Приведенная схема подвеса МВ

вид:

$$\begin{vmatrix} C_{11} & 0 & 0 & 0 & C_{15} & 0 \\ 0 & C_{22} & 0 & C_{24} & 0 & C_{26} \\ 0 & 0 & C_{33} & 0 & C_{35} & 0 \\ 0 & C_{42} & 0 & C_{44} & 0 & C_{46} \\ C_{51} & 0 & C_{53} & 0 & C_{55} & 0 \\ 0 & C_{62} & 0 & C_{64} & 0 & C_{66} \end{vmatrix}$$

Запишем уравнения движения реальной системы упругого подвеса МВ (без учета демпфирования) в форме

$$\begin{aligned} m\ddot{x} + c_{11}x + c_{15}\beta_y &= 0; \\ m\ddot{y} + c_{22}y + c_{24}\alpha_x + c_{26}\gamma_z &= 0; \\ m\ddot{z} + c_{33}z + c_{35}\beta_y &= 0; \\ J_x\ddot{\alpha}_x + c_{42}y + c_{44}\alpha_x + c_{46}\gamma_z &= 0; \\ J_y\ddot{\beta}_y + c_{51}x + c_{53}z + c_{55}\beta_y &= 0; \\ J_z\ddot{\gamma}_z + c_{62}y + c_{64}\alpha_x + c_{66}\gamma_z &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

При конструировании системы амортизации должны быть выполнены условия, при которых общая грузоподъемность всех амортизаторов будет равна весу амортизированного объекта защиты (ОЗ), а координаты центра жесткости близки к координатам центра тяжести ОЗ (центр жесткости – это точка приведения всех упругих сил подвеса МВ) [4,6].

При выполнении условия $b_1 = b_2$ оси жесткости пересекутся в главном центре жесткости и уравнения движения МВ примут более простой вид:

$$\begin{aligned} m\ddot{x} + c_{11}x + c_{15}\beta_y &= 0; \\ m\ddot{y} + c_{22}y + c_{24}\alpha_x &= 0; \\ m\ddot{z} + c_{33}z &= 0; \\ J_x\ddot{\alpha}_x + c_{42}y + c_{44}\alpha_x &= 0; \\ J_y\ddot{\beta}_y + c_{51}x + c_{55}\beta_y &= 0; \\ J_z\ddot{\gamma}_z + c_{66}\gamma_z &= 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Уравнения (5) позволяют в первом приближении по экспериментальным данным определить приведенную жесткость упругих элементов модели.

Уравнения преобразования данных датчиков в колебания по обобщенным координатам

Запишем выражения перемещений в *i*-ой точке МВ через обобщенные координаты:

$$\begin{aligned} X_i &= X + (\beta_y z_1 - \gamma_z y_1); \\ Y_i &= Y + (\gamma_z x_1 - \alpha_x z_1); \\ Z_i &= Z + (\alpha_x y_1 - \beta_y x_1). \end{aligned} \quad (6)$$

где X_i, Y_i, Z_i - перемещения в i-ой точке; $X, Y, Z, \alpha_x, \beta_y, \gamma_z$ – перемещения по обобщенным координатам; x_1, y_1, z_1 - координаты точек крепления датчиков относительно центра масс МВ. Принятая схема расположения 6-ти датчиков вибрации на мотор-вентиляторе (рис.1) позволяет одновременно определять вибрацию на подшипниковых опорах в радиальных (вертикальном и горизонтальном) направлениях, а также – параметры колебаний по 6 обобщенным координатам. Зададим координаты расположения датчиков (табл.1).

Таблица 1

Координаты установки датчиков относительно центра масс МВ

Датчик	x_1 (мм)	y_1 (мм)	z_1 (мм)
1В	183	0	237
2В	-307	0	237
1Г	183	-230	0
2Г	-307	-230	0
3	-407	0	200
4	-62	0	237

Для экспериментального определения по данным вибродатчиков 6 собственных частот колебаний МВ по обобщенным координатам с использованием уравнений (6) и данных табл. 1 получим:

$$X = X_3^* - \left(\frac{Z_{2B}^* - Z_{1B}^*}{x_1^{1B} - x_1^{2B}}\right) z_1^3, \quad Y = \frac{Y_{1Г}^* x_1^{2Г} - Y_{2Г}^* x_1^{1Г}}{(x_1^{2Г} - x_1^{1Г})},$$

$$Z = \frac{Z_{2B}^* x_1^{1B} - Z_{1B}^* x_1^{2B}}{(x_1^{1B} - x_1^{2B})}, \quad \alpha_x = \frac{Y + \gamma_z x_1^4 - Y_4^*}{z_1^4}, \quad (7)$$

$$\beta_y = \frac{Z_{2B}^* - Z_{1B}^*}{x_1^{1B} - x_1^{2B}}, \quad \gamma_z = \frac{Y_{2Г}^* - Y_{1Г}^*}{x_1^{2Г} - x_1^{1Г}},$$

где $Y_{1Г}^*, Y_{2Г}^*, Z_{1B}^*, Z_{2B}^*, X_3^*, Y_4^*$ - значения колебаний (смещения, виброскорости или ускорения) в направлении измерений датчиков; $x_1^{1Г}$, $x_1^{2Г}$, x_1^{1B}, x_1^{2B}, z_1^3, x_1^4, z_1^4 - координаты датчиков 1г; 2г; 1в; 2в, 3, 4 в системе координат $CX_1Y_1Z_1$, связанной с центром масс МВ.

2. Экспериментальные исследования МВ в режиме свободных и вынужденных колебаний

Эксперимент проводился в локомотивном депо Иркутск - сортировочный на электровозах

ЭП1 №179, 138; ЭП1П №006, 007 с использованием 8-канальной виброизмерительной аппаратуры СТД-2160 («Технекон», г. Москва) и «Спектр» (ИрГУПС г. Иркутск), позволяющей синхронно измерять вибрации в 8 точках. Виброизмерительный комплекс СТД-2160 использовался для измерения свободных колебаний МВ в обесточенном состоянии. С использованием комплекса входного виброконтроля «Спектр» измерялись вынужденные колебания МВ при их прокрутке на электровозе под контактным проводом (рис. 3):

- датчики 1в, 1г, 2в, 2г установлены в районе подшипниковых опор в вертикальном и горизонтальном направлениях;
- датчики 3, 4 – в осевом и тангенциальном направлениях;
- датчики 5в, 5г – на основании МВ в вертикальном и горизонтальном направлениях.

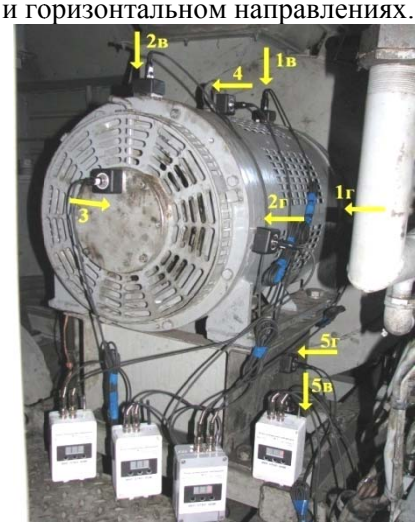


Рис. 3. Измерение свободных колебаний МВ-3 с использованием модульной многоканальной виброаппаратуры «Спектр»

Измерение вынужденных колебаний проводилось при включении последовательно мотор-компрессора, мотор-вентилятора и при совместной работе МВ и МК.

Измерение свободных колебаний проводилось при отключенных МВ и МК, при воздействия на МВ ударных импульсов последовательно (рис. 1): по осям $X; Y; Z$ (поступательные колебания); по направлению сил P_y; P_z; P_{y1} (угловые колебания α_x; β_y; γ_z).

Зарегистрированные датчиками колебания МВ преобразовывались в колебания по обобщенным координатам. Анализ спектров свободных колебаний позволил определить собственные частоты колебаний МВ-3 и МВ-4 электровозов ЭП1 и ЭП1П (табл. 2).

Таблица 2

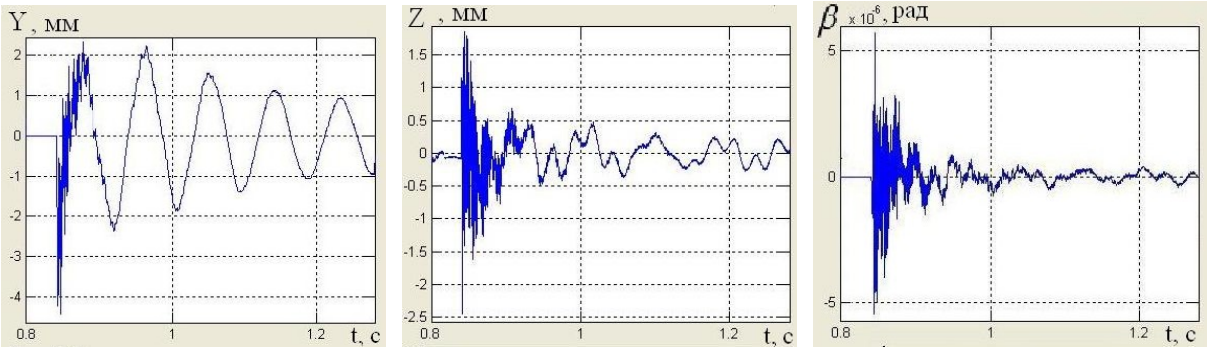
Частоты свободных колебаний МВ-3 и МВ-4 электровозов ЭП1 и ЭП1П по результатам экспериментов

Электровоз ЭП1						
МВ-3						
Обобщенная координата	Z	Y	X	β	γ	α
Собственная частота, Гц	35,2	10,9	11,7	42,2	47,6	10,2
МВ-4						
Обобщенная координата	Z	Y	X	β	γ	α
Собственная частота, Гц	24,2	16	12,3	37	22,3	16,2
Электровоз ЭП1П						
МВ-3						
Обобщенная координата	Z	Y	X	β	γ	α
Собственная частота, Гц	24,4	10	16,3	27,6	11,1	9,6
МВ-4						
Обобщенная координата	Z	Y	X	β	γ	α
Собственная частота, Гц	19,7	29,3	30,3	25,9	29,2	28,9

Анализ частот свободных колебаний показывает, что ряд из них находится в опасной близости от оборотной частоты мотор-вентилятора (24,2 Гц – 24,8 Гц) или основной частоты возбуждения мотор-компрессора (12,5 Гц), что может привести к увеличению резонансных колебаний. Частоты свободных колебаний позволили определить параметры жесткости и расположения сосредоточенных упругих элементов, моделирующих упругие свойства реальной коробчатой опоры МВ: $C_z = 5{,}42 \cdot 10^6$ Н/м; $\lambda = 0{,}1$; $a = 1{,}23$ м; $b_{cp} = 0{,}36$ м.

3. Трехмерное моделирование колебаний МВ на основе экспериментальных данных и численных расчетов

При исследовании свободных и вынужденных колебаний твердого тела – модели МВ на упругом подвесе значительные трудности возникают при интерпретации экспериментальных данных и результатов численного моделирования колебаний, полученных в различных точках установки датчиков. Преобразование экспериментально полученных колебаний в направлении чувствительности вибродатчиков в обобщенные поступательные и угловые колебания по 6 степеням свободы МВ по уравнениям (7) позволяет определить



а) б) в)

Рис. 4. Графики свободных колебаний МВ по обобщенным координатам Y (а), Z (б), β (в) при ударе вдоль поперечной оси OY

истинные направления и спектральный состав максимальных вибраций.

Например, на рис. 4 показаны экспериментальные графики свободных колебаний МВ по обобщенным координатам Y, Z, β при воздействии на МВ ударного импульса по оси OY. Ввиду связанности движений по обобщенным координатам дифференциальных уравнений (7) малых свободных колебаний, а также ввиду сложности реального нанесения удара в направлении невидимой на МВ оси, проходящей через центр масс, зафиксированы колебания с разными амплитудами, фазами и частотами практически по всем 6-ти обобщенным координатам, которые сложно интерпретировать и анализировать.

Более точно установить соотношение поступательных и угловых колебаний с учетом их амплитуд, фазовых и частотных характеристик, определить направления и форму результирующих движений всего твердого тела, направления максимальной податливости опорной системы можно путем синтеза визуальной трехмерной модели колебаний твердого тела. Визуальное трехмерное моделирование результирующих пространственных колебаний машин по данным их виброиспытаний повышает наглядность представления результирующих колебаний МВ, а значит и эффективность динамического анализа и вибродиагностики развивающихся дефектов, таких как дисбаланс, расцентровка, ослабления, люфты и др.

В настоящей работе для решения данной задачи использовался пакет программ визуального трехмерного моделирования 3DS - MAX. На первом шаге создается трехмерная графическая модель МВ. Для моделирования изменения пространственных колебаний МВ во времени используется язык программирования MAXScript для приложения Autodesk 3DS - MAX. Средства MAXScript позволяют взаимодействовать со сценой трехмерной модели и автоматически выполнять трансформацию (преобразование формы и положения) модели в соответствии с заданным файлом изменения во времени обобщенных координат МВ (при свободных или вынужденных колебаниях).

Кадры трехмерного визуального моделирования свободных колебаний МВ при ударе по оси Y приведены на рис. 5. Удар был произведен с некоторым смещением относительно центра масс по вертикали и горизонтали. Поэтому, свободные колебания происходят не только по направлению связанных обобщенных координат Y и γ (в соот-

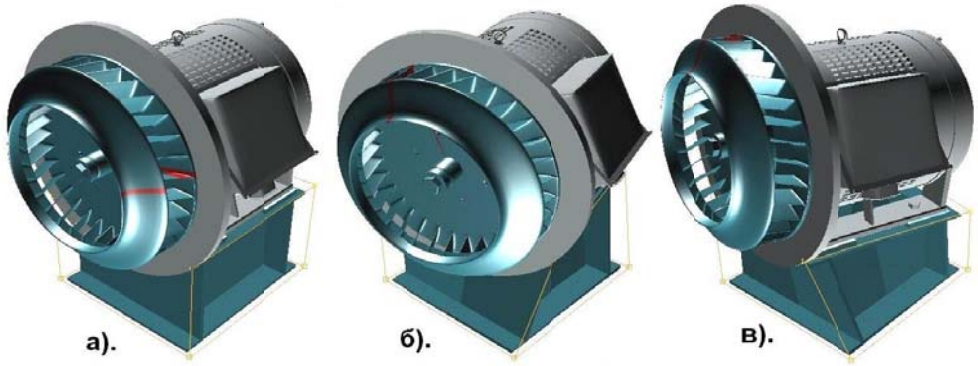


Рис. 5. Характерные кадры трехмерного визуального моделирования свободных колебаний МВ при ударе вдоль поперечной оси Y: а) начальное положение; б) смещение по осям Y и Z, поворот вокруг осей β и γ; в) обратное движение по тем же осям и углам поворота

ветствии с уравнениями (4)), но и по координатам Z и β (из-за несовпадения линии удара с осью OY).

4. Уравнения и исходные данные для моделирования силового и кинематического возмущения

На мотор-вентилятор в условиях эксплуатации воздействуют как силовые, так и кинематические возмущения. Силовое возмущение формируется за счет гироскопических и центробежных сил вращающегося ротора, инерциальных сил, передаваемых на МВ от движущегося основания (линейные, ударные и вибрационные ускорения), электромагнитных сил электропривода. Центробежные силы возникают из-за статического, моментного или динамического дисбаланса вращающихся масс ротора. Силовое возмущение является также следствием большинства развивающихся дефектов механической, электрической или аэродинамической природы, что приводит к увеличению вибрации МВ в различных областях спектрального диапазона. Кинематическое возмущение передается на МВ через основание от рядом стоящего вибрирующего оборудования.

Уравнения и исходные данные моделирования кинематического возмущения

Кинематическое возмущение учитывается уравнением (2), в котором $q_0(x_0;y_0;z_0;0;0;0)$, $\dot{q}_0(\dot{x}_0;\dot{y}_0;\dot{z}_0;0;0;0)$ - векторы вибросмещения и виброскорости основания. Кинематическое возмущение на МВ от работающего мотор-компрессора (МК) экспериментально определяется датчиками 5 на схеме измерения вибрации МВ-4 (рис. 3) и задается, в основном, по координатам линейного перемещения в виде гармонического ряда:

$$z_0 = z_{01}\sin p_1 t + z_{03}\sin p_3 t\,;$$

$$\dot{z}_0 = \dot{z}_{01}\sin p_1 t + \dot{z}_{03}\sin p_3 t\,;$$

$$y_0 = y_{01}\sin p_1 t + y_{03}\sin p_3 t\,;$$

$$\dot{y}_0 = \dot{y}_{01}\sin p_1 t + \dot{y}_{03}\sin p_3 t\,;$$

$$\dot{z}_{01} = z_{01}p_1;\quad \dot{z}_{03} = z_{03}p_3;\quad \dot{y}_{01} = y_{01}p_1;$$

$$\dot{y}_{03} = y_{03}p_3;\quad p_3 = 3p_1.$$

z_{01}=7 мкм; z_{03}=1,6 мкм; y_{01}= 7 мкм; y_{03}=1 мкм; $p_1 = 2\pi f_1$; $f_1 = 12{,}5$ Гц.

Действие гироскопического момента вращающегося ротора МВ

При угловых колебаниях вращающегося ротора с кинетическим моментом $J_x\omega$ вокруг осей y_1 и z_1 с угловыми скоростями $\dot{\beta}_y$ и $\dot{\gamma}_z$ на твердое тело передается гироскопический момент (рис.6):

$$M_{\Gamma\gamma} = J_x\omega\dot{\gamma}_z;\quad M_{\Gamma\beta} = -J_x\omega\dot{\beta}_y,$$

где: $J_x = 7{,}34\ кгм^2$ - момент инерции ротора вокруг продольной оси; $\omega = \dfrac{\pi n}{30}$ - угловая скорость вращения ротора; $n = 1460\ об/мин$ - скорость вращения ротора МВ с учетом скольжения; $\dot{\beta}_y$, $\dot{\gamma}_z$ - угловые скорости вращения МВ вокруг осей y_1 и z_1 соответственно.

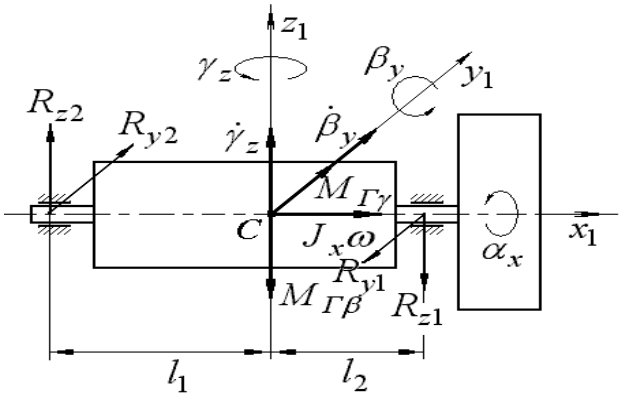


Рис. 6. Направление действия проекций гироскопического момента от вращающегося ротора

Действие дефектов: статический, моментный или динамический дисбаланс

Действие дисбаланса моделируется двумя силами P_1 и P_2, лежащими в плоскостях, перпендикулярных к оси ротора, приложенными к торцам якоря электродвигателя на расстоянии e_1 =0,054 м и e_2 =0,23 м (см. рис. 7). Эти силы создают главный вектор и главный момент центробежных сил инерции:

$$R = \sqrt{R_y^2 + R_z^2}\,;\quad M = \sqrt{M_y^2 + M_z^2}\,.$$

С помощью такой схемы расположения сил можно моделировать любой из трех разновидностей дисбалансов:

– *статический дисбаланс* при $M_y = M_z = 0$; ($\alpha_1 = \alpha_2$; $P_1 = P_2$; $e_1 = e_2$);

– *моментный дисбаланс* при $R_y = R_z = 0$; ($\alpha_1 = 180^0$; $\alpha_2 = 0^0$; $P_1 = P_2$; $e_1 = e_2$);

– *динамический дисбаланс* – во всех остальных случаях.

Здесь: $P_1 = m_p \omega^2 e_{экс}$; $P_2 = P_1 \varepsilon$; $\varepsilon = 0 \div 1$.

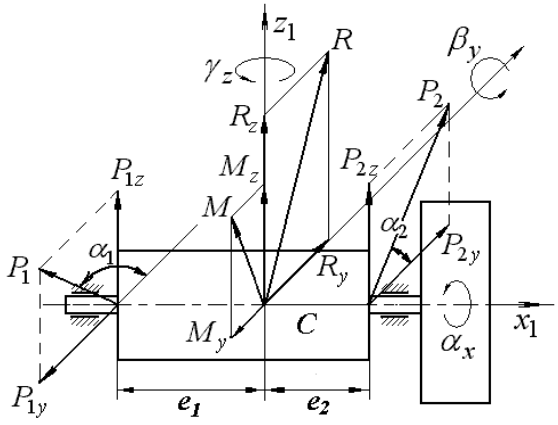


Рис. 7. Схема действия сил, создающих динамический дисбаланс ротора

5. Структура программы расчета динамических характеристик мотор-вентиляторов “Din_TT”

Программа расчета динамических характеристик мотор-вентиляторов разработана в системе MATLAB 7.01 и позволяет моделировать воздействие на МВ кинематического и силового возмущения с вычислением виброускорения в 2-х точках МВ. Полученные результаты моделирования представлены в формате Excel, для последующей обработки другими программными средствами.

Программа реализована с помощью 8 функций:

– функция “KOEF” – для расчета коэффициентов λ_1 и λ_2 для нахождения матрицы демпфирования упругого подвеса B;

– функция “INERST” – для вычисления матрицы инерционных коэффициентов A;

– стандартная библиотечная функция MATLAB “ode45” – для решения обыкновенного дифференциального уравнения движения твердого тела на упругом подвесе методом Рунге-Кутта 4-го и 5-го порядка;

– функция “FCT” – для вычисления правой части дифференциального уравнения движения твердого тела на упругом подвесе с введением возмущающих сил;

– функция “KGMT” – для вычисления матрицы жесткости упругого подвеса C;

– функция “DEMP” – для расчета матрицы демпфирования упругого подвеса B;

– функция “SKZ” – для определения СКЗ виброускорения в 2-х точках МВ и его суммы;

– стандартная библиотечная функция MATLAB “xlswrite” – для записи полученных при моделировании значениях виброскорости в файл в формате “Excel”, для последующей обработки другими программными средствами.

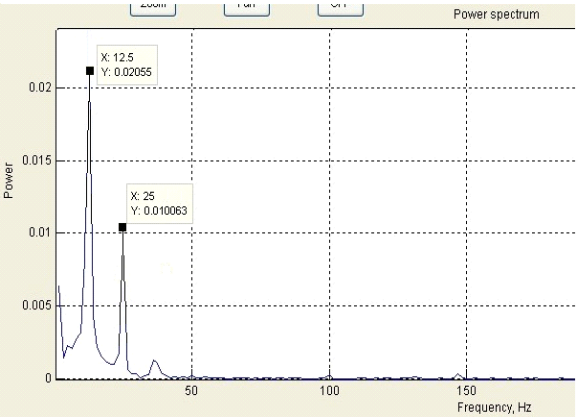
6. Результаты моделирования

Моделирование свободных колебаний. В результате проведенного моделирования полученны следующие значения собственных частот МВ по обобщенным координатам: 35,4 Гц (Z); 11 Гц (Y); 11 Гц (X); 42,7 Гц (β_y); 47,6 Гц (γ_z) 11,3 Гц (α_x).

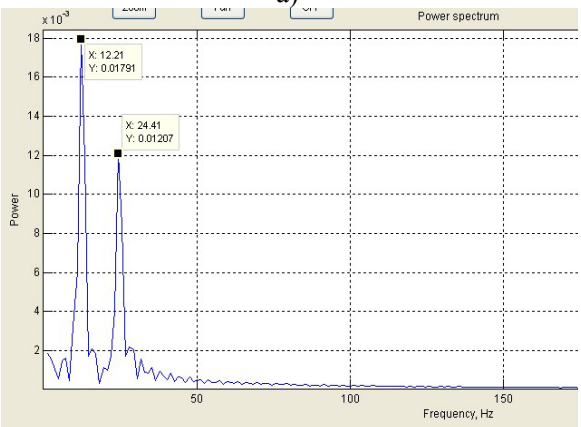
Сравнивая эти данные с приведенными в табл. 2, можно сделать вывод, что собственные частоты по обобщенным координатам полученные при экспериментальных исследованиях и моделировании очень близки. Следовательно, используемая математическая модель мотор-вентилятора корректна.

Моделирование вынужденных колебаний при кинематическом возмущении. Результаты моделирования вынужденных колебаний при кинематическом возмущении близки к экспериментальными данными, как по частотам, так и по амплитудам. Учитывая, что МК в электровозе работает периодически, резонансные колебаний МВ в направлении координаты y достигают высоких значений, превышающих амплитуду колебаний при дисбалансе.

Моделирование вынужденных колебаний при силовом возмущении. Рассматривались случаи возникновения в МВ дисбаланса различной природы (статического, моментного, динамического). Результаты моделирования хорошо совпадают с экспериментальными данными. Большой интерес представляют исследования совместного воздействия кинематического и силового (дисбаланс) возмущений, т.к. вторая гармоника оборотной частоты МК (25 Гц) очень близка к оборотной частоте МВ (24,6 Гц), что может привести к увеличению результирующих колебаний (рис. 8). В случае близости частоты свободных колебаний одного из МВ электровоза к этим частотам могут возникнуть значительные резонансные колебания.



а)



б)

Рис. 8. Спектры выбросмещения по координате Y при вынужденных колебаниях МВ: (а) – эксперимент, (б) – модель

7. Оптимизация параметров подвески моторвентиляторов электровозов

С целью уменьшения вибрации подшипников проведена оптимизация параметров подвески МВ. В качестве критерия оптимальности была взята сумма среднеквадратических значений (СКЗ) виброускорения в двух точках МВ, соответствующих положению подшипников.

Абсолютное ускорение точек тела и его проекции на оси неподвижной системы координат примем в виде

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}\ ;\ a_x = \ddot{x} + a_x^{вр} + a_x^{ц}\ ;$$

$$a_y = \ddot{y} + a_y^{вр} + a_y^{ц}\ ;\ a_z = \ddot{z} + a_z^{вр} + a_z^{ц}\ .$$

Проекции вращательного и центростремительного ускорения, вращательной составляющей скорости на эти же оси запишем соответственно

$$a_x^{вр} = \varepsilon_y z_1 - \varepsilon_z y_1\ ,$$

$$a_y^{вр} = \varepsilon_z x_1 - \varepsilon_x z_1\ ,$$

$$a_z^{вр} = \varepsilon_x y_1 - \varepsilon_y x_1\ ,$$

$$a_x^{ц} = \omega_y V_z^{вр} - \omega_z V_y^{вр}\ ,$$

$$a_y^{ц} = \omega_z V_x^{вр} - \omega_x V_z^{вр}\ ,$$

$$a_z^{ц} = \omega_x V_y^{вр} - \omega_y V_x^{вр}\ ,$$

$$V_x^{вр} = \omega_y z_1 - \omega_z y_1\ ,$$

$$V_y^{вр} = \omega_z x_1 - \omega_x z_1\ ,$$

$$V_z^{вр} = \omega_x y_1 - \omega_y x_1\ .$$

Здесь: x_1, y_1, z_1 - координаты точки твердого тела в его системе координат $O_1X_1Y_1Z_1$; $\omega_x = \dot{\alpha}_x$, $\omega_y = \dot{\beta}_y$, $\omega_z = \dot{\gamma}_z$ - проекции угловой скорости; $\varepsilon_x = \ddot{\alpha}_x$, $\varepsilon_y = \ddot{\beta}_y$, $\varepsilon_z = \ddot{\gamma}_z$ - проекции углового ускорения твердого тела на оси неподвижной системы координат.

Критерий оптимальности можно представить в виде:

$$\min I = a_{1(скз)} + a_{2(скз)}\ ;\ a_{i(скз)} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_{L_0}^{L_1} a_i^2(t)\mathrm{dt}}\ ,$$

где $a_{1(скз)}$ и $a_{2(скз)}$ - среднеквадратическое значение (СКЗ) виброускорения в контролируемых точках твердого тела (подшипниковых опор) с координатами x_1, y_1, z_1 и x_2, y_2, z_2 в системе координат $OXYZ$; a_i - максимальное значение абсолютного ускорения i-ой точки твердого тела за период $T = L_1 - L_0$ измерения СКЗ. Временем стабилизации L_0 вынужденных колебаний считается момент, когда разница амплитуд колебаний соседних периодов не превышает 3%.

В качестве метода поиска оптимума, был применен безградиентный метод сканирования с переменным шагом [8]. Применение безградиентного метода обусловлено трудностью получения функции чувствительности обусловленной:

- большой размерностью системы – 6 взаимосвязанных степеней свободы;
- нерациональным монтажом системы, т.е. центр жесткости системы не совпадает с центром масс и колебания системы взаимосвязаны;
- нелинейностью системы, вследствие присутствия гироскопического момента;
- присутствием у реальных упругих элементов кубической нелинейности.

В качестве независимых параметров, выбраны 2 параметра: C_z – значение продольной жест-

кости упругого элемента и $\lambda = \frac{C_x}{C_z} = \frac{C_y}{C_z}$ – коэффициент отношения поперечной и продольной жесткостей упругого элемента.

Использовались 2 этапа уточнения параметров, с уменьшением шага поиска в 5 раз. Начальный шаг для переменных C_z и λ был равен: $\Delta_{C_{z0}} = 5 \cdot 10^5$; $\Delta_{\lambda_0} = 0{,}05$. Значение параметра C_z в ходе эксперимента изменялось на интервале от $3 \cdot 10^6 н/м$ до $1 \cdot 10^7 н/м$, а значение параметра λ – на интервале от 0,05 до 0,45. Данные интервалы были выбраны, исходя из приведенной жесткости упругого подвеса.

Оптимум критерия оптимальности был определен с точностью значения параметра C_z, равного $1 \cdot 10^5 н/м$ и параметра λ, равного 0,01.

На рис.9 представлены значения критерия оптимальности после проведения 1-го этапа метода сканирования с переменным шагом в виде криволинейной поверхности; определена точка с наименьшим значением критерия оптимальности. Точка А, с значением критерия оптимальности I=7,1315м/с^2, показывает значение критерия I при существующих значениях параметров подвески МВ $C_z = 5.42 \cdot 10^6 н/м$, λ=0,104. Точка В соответствует центру области нахождения глобального оптимума I: I=4,4644 м/с^2 на 1-м этапе при значениях параметров $C_z = 8{,}5 \cdot 10^6 н/м$ и λ=0,1.

На втором этапе уменьшен интервалы значений параметра: C_z [$(8 \div 9) \cdot 10^6 н/м$; λ [0,5 ÷ 0,15], а также шаг изменения параметра C_z до $1 \cdot 10^5 н/м$, λ до 0,01. Глобальный оптимум критерия оптимальности I = 4,349 м/с^2 был получен при значениях параметров $C_z = 8{,}7 \cdot 10^6 н/м$ и λ =0,08.

Сравнение виброускорений на подшипниках МВ (табл. 3) , показывает, что вибронагруженность радиального подшипника (у колеса) в 2 раза больше, чем у радиально-упорного подшипника (причем максимальное виброускорение в вертикальном направлении), что полностью подтверждается экспериментальными данными и повышенным потоком отказов этих подшипников. Оптимизация параметров подвески в два раза уменьшила ускорение на радиальном подшипнике и делает нагрузку на двух подшипниках МВ почти одинаковой.

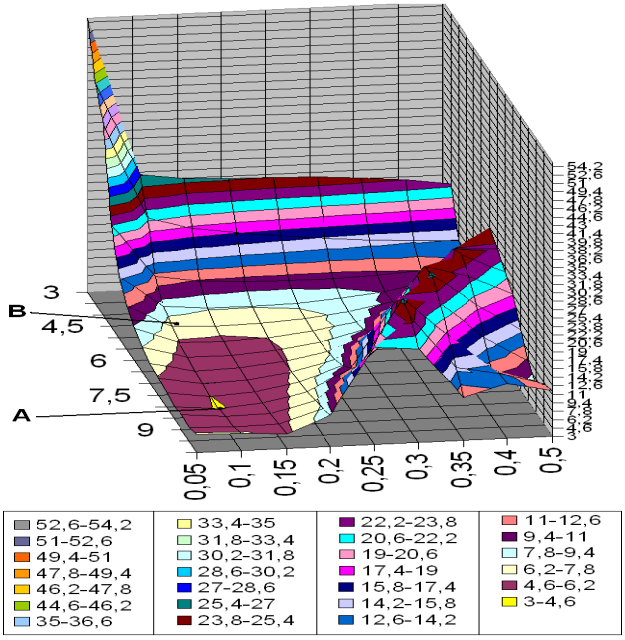


Рис. 9. Значения критерия оптимальности, I после проведения 1-го этапа

Рекомендации. На основании полученных при оптимизации данных можно сделать следующие заключения:

- текущие характеристики подвески, используемые на МВ не оптимальны, что показывает также статистика отказов МВ по высокой вибрации;

- для снижения вибрации при комплексном воздействии различных факторов необходимо увеличить продольную жесткость приведенных упругих элементов подвески C_z с текущей $5{,}42 \cdot 10^6 н/м$ до $8{,}7 \cdot 10^6 н/м$, а также уменьшить коэффициент λ отношения поперечной и продольной жесткости приведенных упругих элементов с текущего значения λ = 0,104 до λ = 0,08.

8. Заключение

На основе проведенных экспериментальных исследований и полученных дифференциальных уравнений движения и преобразования показаний датчиков в колебания по обобщенным координатам определены собственные частоты подвески, параметры силового и кинематического возмущения, разработаны математическая модель и программа моделирования динамических характеристик подвески мотор-вентиляторов при единичном и комплексном воздействиях различных возмущений и развивающихся дефектов.

Таблица 3

Сравнение виброускорений в подшипниках МВ при существующем и оптимальном значении параметров подвески

Условия моделирования	Критерий I, м/с^2	Точка 1, радиальный подшипник (у колеса МВ), м/с^2			
		$a_{1(скз)}$	a_{1X}	a_{1Y}	a_{1Z}
Существующие значения параметров	7,13	4,91	0,45	1,87	4,52
Оптимальные значения параметров	4,36	2,47	0,24	1,85	1,62
		Точка 2, радиально-упорный подшипник, м/с^2			
		$a_{2(скз)}$	a_{2X}	a_{2Y}	a_{2Z}
Существующие значения параметров	7,13	2,22	0,45	1,97	0,92
Оптимальные значения параметров	4,36	1,89	0,24	1,75	0,62

Программа моделирования обладает широким набором инструментов для анализа пространственных колебаний МВ: получения и анализа временных и спектральных характеристик колебаний, визуального моделирования колебаний МВ при различных воздействиях и дефектах. Программа также включает блок численной оптимизации параметров подвески МВ. Проведенные расчеты подтвердили адекватность математической модели и эффективность программных инструментов, позволили выработать рекомендации по конструктивному совершенствованию опорной системы мотор-вентиляторов.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Романовский А. И. Исследование повышенной вибрации вспомогательных машин электровозов // Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов : материалы Второй междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 19-20 окт ; Белорус.-Рос. ун-т. Могилев, 2006. С. 274–277.
2. Сергиенко П. Е. Причины низкой надежности подшипников двигателей НВА-55 // Вестн. Всерос. науч.-исслед. и проект.-конструкт. ин-та электровозостроения (ВЭЛНИИ). Новочеркасск, 2007. № 2 (54). С. 205–210.
3. Романовский А. И. Виброактивность вспомогательных машин электровозов ВЛ-80, ВЛ-65 и рекомендации по ее снижению // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2006. № 4 (12). С. 51–63.
4. Вибрации в технике : справ. : в 6 т. / ред. совет : В. Н. Челомей ; под ред. В. В. Болотина. М. : Машиностроение, 1978. Т. 1 : Колебания линейных систем. 352 с.
5. Бате К., Вильсон Е. Численные методы анализа и метод конечных элементов : пер. с англ. / под ред. А. Ф. Смирнова. М. : Стройиздат, 1982. 448 с.
6. Ганиев Р. Ф., Кононенко В. О. Колебания твердых тел. М. : Наука, 1976. 420 с.
7. Ильинский В. С. Защита РЭА и прецизионного оборудования от динамических воздействий. М. : Радио, 1982. 295 с.
8. Бояринов А. И., Кафаров В. В. Методы оптимизации в химической технологии. М. : Химия, 1969. 564 с.

Ереско С.П., Докшанина И.И. УДК 621.8.92

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОДШИПНИКЕ КАЧЕНИЯ С УЧЕТОМ СИЛ ТРЕНИЯ

Подшипники качения применяются в разнообразных видах опор во всех отраслях машиностроения, на автомобильном и железнодорожном транспорте, в авиационно-космической технике, сельхозмашинах и оборудовании, строительной и дорожной технике, горнодобывающем оборудовании, где необходима передача вращения или качательного движения между отдельными звеньями механизмов с минимальными потерями на трение.

Смазочный материал в узлах качения применяется с целью уменьшения трения и износа поверхностей, отвода выделяемого тепла и защиты поверхности от коррозии. Наиболее важно уменьшение сил трения в зоне контакта. Возникновению этих сил способствует проскальзывание поверхностей на микроконтакте и дифференциальное скольжение в зоне контакта, вызванное конструктивными особенностями механизмов или влиянием внешних касательных нагрузок.

Рассмотрение процесса работы опор качения не возможно без учета влияния используемых смазочных материалов. Наиболее характерной причиной потери работоспособности при нормальных условиях эксплуатации для подшипников качения является усталостное выкрашивание, что связано с качеством смазки контактирующих поверхностей.

Благодаря улучшению свойств смазочных материалов возможно снижение износа подшипников за счет уменьшения проскальзывания, понижения рабочей температуры, снижения сил трения. Установление степени влияния сил трения на усталостные процессы при качении под нагрузкой позволило бы значительно уточнить методику расчета долговечности опор качения для эффективного использования машин и механизмов.

Касательные нагрузки, действующие на площадке контакта и зависящие от действующих сил трения, оказывают немаловажное влияние на расчет напряженного состояния. Они меняют вид напряженного состояния в зоне контакта, так как при увеличении силы трения происходит повышение контактных напряжений и их перемещение ближе к поверхности контакта [1, 2]. В этом случае требуется рассмотрение одновременного действия нормальных и тангенциальных напряжений. При этом скорость процесса изнашивания будут зависеть от свойств смазочного материала и толщины смазочной пленки, разделяющей контактирующие поверхности.

Представленная работа является частью комплекса исследований, проводимых в лаборатории процессов трения Сибирского федерального университета. Работа связана с повышением долговечности опор качения за счет применения в них смазочных материалов с улучшенными антифрикционными свойствами.

Максимальные касательные напряжения, связанные с увеличением силы трения, повышают значения нормальных напряжений на площадке контакта. Такой рост приводит к появлению усталостного изнашивания поверхностей. Предполагается, что в зоне контакта выполняется закон трения Кулона−Амонтона, касательные и нормальные нагрузки связаны зависимостью [3]:

$$|\tau(x)| = \mu \cdot |p(x)|,$$

где $|\tau(x)|$ −тангенциальные контактные нагрузки, $|p(x)|$ −контактные давления, μ−коэффициент трения.

Усталостные разрушения деталей подшипника, в большинстве случаев, начинаются на поверхности. Снижение силы трения на контакте будет менять форму образования усталостных трещин на глубинное, что увеличивает время эксплуатации подшипниковых опор до начала усталостного разрушения дорожек и тел качения подшипников. В этом случае немаловажная роль отводится смазочному действию применяемых смазочных материалов, их способности уменьшать силы трения в зоне контакта, при этом механизм смазочного действия может быть различным и зависеть от условий контактирования.

Анализ применения пластичных смазочных материалов в подшипниках качения дает основа-

ние полагать, что данный вопрос до сих пор остается не решенным. Большое количество видов подшипников качения, а так же многообразие сочетаний условий эксплуатации подшипниковых опор не позволяют дать конкретных указаний по применению смазочного материала.

Повышающиеся требования к эксплуатационным свойствам смазочных материалов, применяемых в узлах с трением качения, способствовали появлению нового направления в создании смазочных материалов с улучшенными свойствами. Одним из наиболее перспективных направлений создания смазочных материалов является использование в качестве носителей функциональных добавок ультрадисперсных материалов. В качестве твердых добавок рассматривается использование ультрадисперсных порошков алмазографита (УДПАГ) с размером частиц 40−100 нм, представляющих углеродосодержащий конденсированный продукт, полученный методом детонационного синтеза в среде углекислого газа. Ультрадисперсному алмазографиту, в отличие от широко применяемых порошковых добавок, присуща высокая адгезионная способность по отношению к металлическим поверхностям за счет повышенной поверхностной энергии, что способствует удержанию слоя смазочного материала на поверхности трения. Частицы прочно удерживают молекулярный смазочный слой на поверхностях трения, создавая своего рода защитный экран. Такие добавки образуют на поверхности трения прочные пленки, способные выдержать без разрушения значительные касательные и нормальные напряжения, препятствующие схватыванию и снижающие коэффициент трения. Основная цель введения в пластичные смазочные материалы подобных добавок − улучшение смазочной способности, увеличение прочности смазочного слоя на контакте, повышение герметизирующих и защитных свойств, снижение коэффициента трения и износа деталей подшипников качения. Эффективность применения таких порошков в жидких и пластичных смазочных материалах является основанием для более детального их изучения [4, 5].

В данной работе представлены отдельные результаты исследований, целью которых является установление влияния углеродосодержащих добавок ультрадисперсного порошка алмазографита (УДПАГ) в пластичных смазочных материалов на снижение контактных напряжений.

Смазочные свойства и эффективность использования таких смазочных материалов в подшипниках оценивались по величине моментов трения, интенсивности изнашивания подшипников качения, реологических характеристик новых смазочных композиций и других параметров. Для смазочных композиций были выбраны широко применяемые в опорах качения пластичные смазочные материалы ЦИАТИМ-201 и Литол-24. Концентрация УДПАГ в базовой смазке бралась в диапазоне от 0,5 до 5 масс. %. Испытания выполнялись на лабораторных установках, моделирующих работу подшипникового узла при однонаправленном вращении подшипника. Образцами служили роликоподшипники типа 32206, радиальная нагрузка составляла от 0,5 до 5 кН, частота вращения внутреннего кольца 960 об/мин.

Как показали результаты, при введении добавки УДПАГ в пластичный смазочный материал снижает величину момента трения до 35 %, температуру подшипникового узла на 16−20 %, износ подшипников снижается в 1,2−1,7 раза по сравнению с базовой смазкой.

Для анализа напряженного состояния предлагается компьютерная модель контакта ролика с дорожкой качения. Расчетная схема принята на основе анализа работ, в которых рассматриваются вопросы контактирования тел качения [6-8].

Компьютерная модель была выполнена с помощью программного пакета ELCUT, позволяющего моделировать плоские двумерные поля методом конечных элементов с целью решения задачи теории упругости в постановках плоских напряжений, плоских деформаций и осесимметричного напряженного состояния с изотропными или ортотропными свойствами материалов.

Для составления компьютерной модели рассматривался контакт, возникающий при качении с проскальзыванием ролика по упругому основанию.

Базируясь на положениях герцевской и упруго-гидродинамической теории контакта, а также учитывая условия работы роликовых подшипников качения для различных узлов, рассматривалась задача о контакте тел качения в роликовом подшипнике для режима граничного трения. Рассматривались контактные поверхности между роликом и поверхностью качения внутреннего кольца. В зоне контакта имеется герцевская площадь контакта прямоугольной формы ширины $2b$, обуславливающая упругие деформации (рис. 1). При учете действия сил трения площадь контакта делится на два участка.

Участок *II*, расположенный на стороне набегания цилиндра является зоной сцепления, а участок *I* − зоной, где имеет место проскальзывание контактирующих поверхностей.

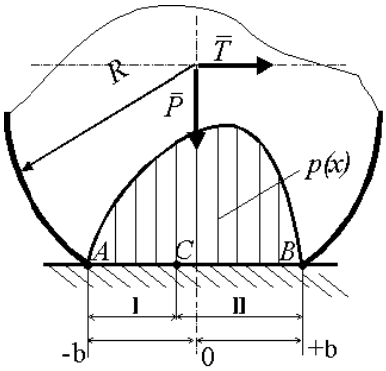


Рис. 1. Схема контакта ролика при качении по упругому основанию

Координату точки C, разделяющую эти две зоны, можно определить из формулы [1]:

$$c = b\left(1 - \frac{1}{\pi} arctg \frac{1-2\nu}{f(2-2\nu)}\right),$$

где b − полуширина площади контакта, определенной по формулам Герца; f − коэффициент трения скольжения; ν − коэффициент Пуассона. Размер полуширины площади контакта рассчитывался для случая контакта цилиндра с плоскостью и определялся по формуле [2]:

$$b = 0,798\sqrt{2pR(\Theta_1 + \Theta_2)},$$

где R − радиус цилиндра; $\Theta_i = \dfrac{1-\nu_i^2}{E_i}$ − коэффициент упругости; E − модуль упругости материала; ν − коэффициент Пуассона. Расчетная схема состоит из двух блоков − ролика и дорожки качения (рис. 2). Каждый блок разбивается на ребра и вершины, к которым прикладываются действующие точечные или поверхностные нагрузки.

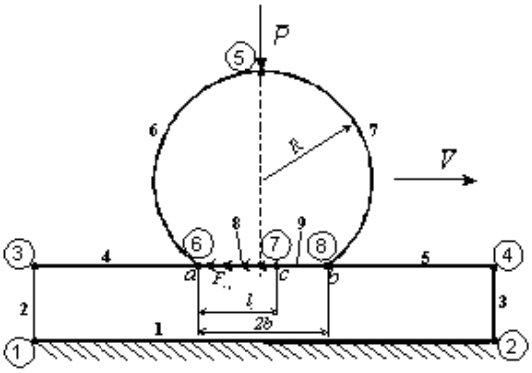


Рис. 2. Расчетная схема модели контакта ролика с плоскостью качения

Для такой схемы контакта условия, определяющие границу площади между двумя скользящими телами, представляют систему уравнений [2]:

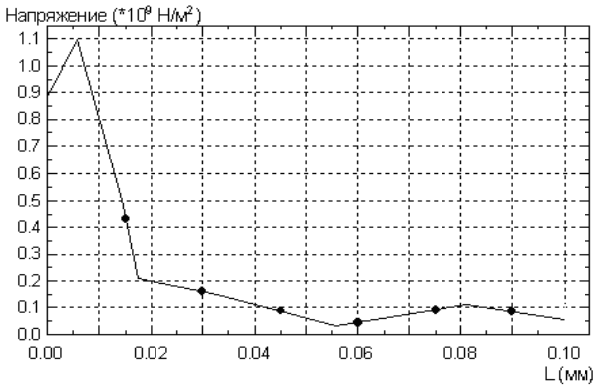
$$\left.\begin{aligned} \sigma_z &= -p(x) = -\frac{p_0}{b}\left(b^2 - x^2\right)^{\frac{1}{2}}, \\ \tau_{xz} &= -\mu\, p(x), \end{aligned}\right\},$$

где μ − коэффициент трения; b − полуширина площадки контакта, p_0 − давление в центре площадки, $\tau(x)$ − тангенциальное напряжение на площади контакта; $p(x)$ − нормальное напряжение.

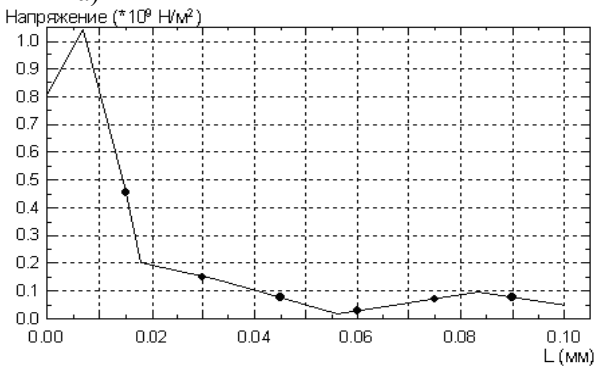
При наличии на участке скольжения силы трения точка, в которой касательные напряжения достигают максимального значения, перемещается к поверхности, в направлении действия силы трения. Учитывая, что растягивающие напряжения в точке A имеют наибольшую величину, абсолютный максимум срезывающих напряжений располагается непосредственно на поверхности или на небольшой глубине под ней. Поэтому усталостное разрушение начинается с поверхности трения. Его можно уменьшить применением смазочных материалов, которые, наряду со снижением силы трения, модифицируют поверхностные слои контактирующих деталей в зоне трения, снижая контактные нагрузки, а, следовательно, и напряжения в материале.

На графиках представлены распределения касательных (рис. 3) и нормальных (рис. 4) напряжений, полученных при реализации модели упругого контакта ролика с плоскостью на ЭВМ. Значения сил трения, соответствующие действующим на поверхности касательным нагрузкам, взяты на основе экспериментальных данных для смазочных композиций на основе Литол-24 и ЦИАТИМ-201 с концентрацией ультрадисперсного порошка алмазографита 1 масс. %.

Как показывают результаты анализа, при использовании смазочных композиций с ультрадисперсным алмазографитом величина поверхностных касательных напряжений на дорожке качения уменьшается. Увеличение сил трения на участке скольжения приводит к перемещению максимальных касательных напряжений к поверхности, в направлении действия силы трения, при этом максимальные срезывающие напряжения будут располагаться на небольшой глубине или непосредственно на поверхности [6, 7]. Так, на рис. 5 представлены полученные с помощью компьютерной модели изображения полей распределения касательных напряжений по глубине дорожки. Заметно, что более темные области, соответствующие максимуму касательных напряжений, с увеличением коэффициента трения смещаются ближе к поверхности.

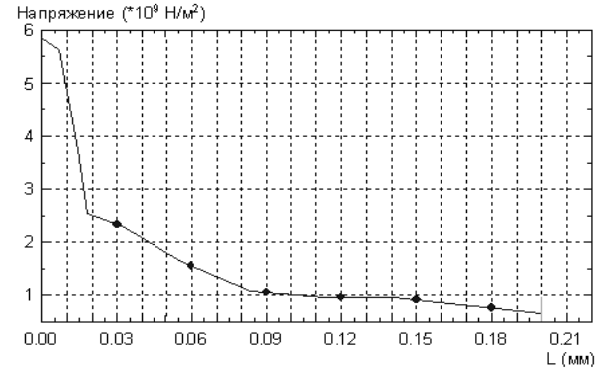


а)

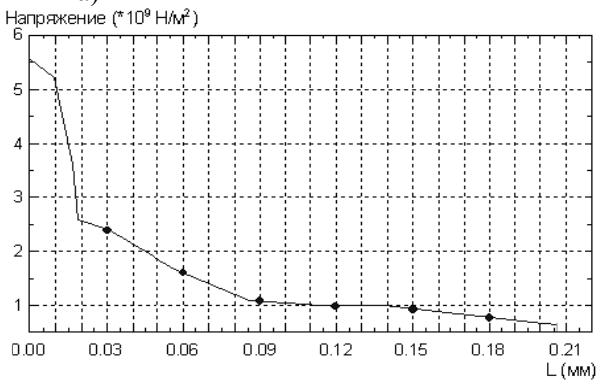


б)

Рис. 3. Распределение касательных напряжений по глубине внутреннего кольца для смазочного материала ЦИАТИМ-201 с добавкой УДПАГ (а) и без добавок (б)



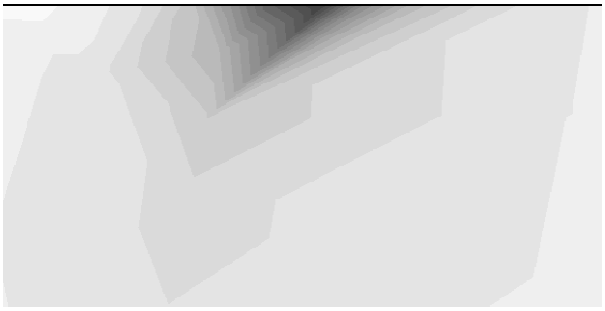
а)



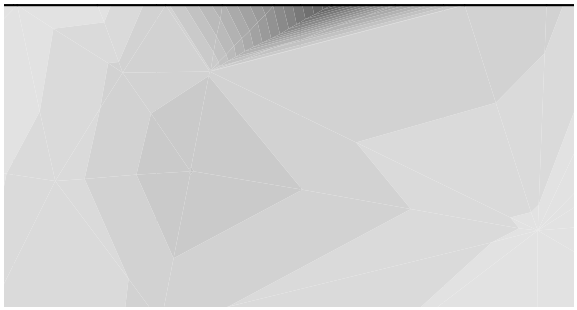
б)

Рис. 4. Распределение нормальных напряжений по глубине внутреннего кольца для смазочного материала Литол-24 без добавок (а) и с добавкой УДПАГ (б)

Как показывают результаты моделирования, наличие в зоне контакта пластичной смазки с добавкой УДПАГ снижает величину нормального напряжения, по сравнению со смазками-основами, на 13−15 %.



а)



б)

Рис. 5. Поля распределения касательных напряжений по глубине в зависимости от коэффициента трения *f*: *а*) при *f*=0,09; *б*) при *f*=0,11, *в*) при *f*=0,13

Приведенные теоретические и экспериментальные исследования позволяют уточнить методику расчета долговечности подшипников качения, применяемых в реальных условиях эксплуатации уже на этапе проектирования.

Многочисленные лабораторные исследования и данные эксплуатационных испытаний, расчетные значения долговечности подшипников качения, а также результаты моделирования позволяют говорить о том, что пластичные смазки с добавкой ультрадисперсного порошка алмазографита способны в 1,5–2 раза увеличить срок службы подшипникового узла и тем самым повысить долговечность механизмов.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Пинегин С. В. Трение качения в машинах и приборах. М. : Машиностроение, 1976. 264 с.
2. Биргер И. А., Шорр Б. Ф., Иосилевич Г. Б. Расчет на прочность деталей машин : справ. М. : Машиностроение, 1993. 640 с.
3. Горячева И. Г. Механика фрикционного взаимодействия. М. : Наука, 2001. 478 с.

4. О влиянии ультрадисперсных наполнителей на реологические свойства пластичных смазок / В. В.Жевнов, В. А. Смуругов, И. О. Деликатная и др. // Трение и износ. 2001 (22). № 6. С. 699−702.
5. Методология создания смазочных материалов с наномодификаторами / М. Люты, Г. А. Костюкович, А. А. Скаскевич и др. // Трение и износ. 2002 (25). № 4. С. 411−424.
6. Махутов Н. А. Конструкционная прочность, ресурс и техногенная безопасность : в 2 ч. Новосибирск : Наука, Сиб. отд-ние, 2005. Ч. 1. 494 с.
7. Морозов Е. М., Зернин М. В. Контактные задачи механики разрушения. М. : Машиностроение, 1999. 544 с.
8. Menovschikov V. A., Eresko S. P. Structure influence and materials properties of mated surfaces on their density chanqe and compactibility degree // «Engeneering & Automation». 2006. № 1. P. 124–128.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта

Иркутский государственный университет путей сообщения
Иркутский научный центр СО РАН
Российская инженерная академия

Современные технологии

Системный анализ

Моделирование

Раздел 2.

Управление в технических системах.
Моделирование.

Содержание научного журнала:

- Инженерная механика
- Транспортные средства
- Энергетика и электромеханика
- Строительство, материалы и конструкции
- Охрана окружающей среды
- Автоматизация технологических процессов
- Современные технологии
- Системный анализ
- Моделирование технических систем
- Транспортные системы
- Телекоммуникации и связь
- Управление техническими системами
- Информационные технологии

Новиков М.А. УДК 531.36

О ПРИЛОЖЕНИИ ФОРМ ВЫШЕ ВТОРОГО ПОРЯДКА В ЗАДАЧАХ УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ

Введение. Возможность применения форм выше второго порядка возникает в качественной теории дифференциальных уравнений в задачах различения особых точек "центр-фокус" [1, 2]. В теории устойчивости движения [3-6] обычно такие формы нужны в критических по Ляпунову случаях [4-6]. Хотя исследование таких форм часто затруднительно, но их применение позволяет получить достаточные условия устойчивости стационарных движений, довольно близкими к необходимым. Это хорошо видно на примерах модельных систем [7, 8] и на модельном примере [9].

Исследованию форм выше квадратичных посвящен ряд работ, в частности можно выделить наиболее характерные из них [1, 10-18]. В некоторых содержатся только достаточные условия знакоопределенности форм [11], в других используется прямой анализ корней относительно x/y [1, 16], в статьях [10, 17] используется условно-экстремальный подход, описанные в [13-15] способы опираются на теорему Штурма [19, 20] или ее модификации отделения вещественных корней полинома одной переменной. Последний метод успешно применяется для форм двух переменных. Число переменных существенно усложняет анализ, а повышение порядка формы в меньшей степени влияет на исследование знакоопределенности [17].

Перспективным представляется подход, связанный со степенной заменой переменных [11, 17, 18]. Этот способ особенно алгоритмичен при использовании теоремы Финслера [18]. При таком подходе порядок и размерность формы в равной степени влияет на сложность исследования знакоопределенности форм.

Для наглядного изложения материалов статьи применим наиболее простые формы четвертого порядка двух переменных. Не уменьшая общности, будем рассматривать форму

$$V(x,y) = x^4 + p\,x^2y^2 + g\,xy^3 + r\,y^4, \qquad (1)$$

где $x, y \in R$; p, g, r – имеют вещественные значения ($r > 0$).

1. Условия знакоопределенности

Кратко изложим получение необходимых и достаточных условий знакоопределенности формы (1), сводящийся к квадратичным. Пусть $V(x,y) = V_1(x,y)\,V_2(x,y)$, где

$V_1(x,y) = x^2 + a_1xy + b_1y^2$, $V_2(x,y) = x^2 + a_2xy + b_2y^2$.

Формальным сравнением обеих частей равенства форм запишем $a_1 = a = -a_2$; $b_1 = \left(a^2 + p - g/a\right)/2$; $b_2 = \left(a^2 + p + g/a\right)/2$. При этом параметр a определяется из уравнения $a^2\left(a^2+p\right)^2 - 4ar - g^2 = 0$, которое после обозначения $a^2 = 2\alpha$ ($\alpha > 0$) обращается в резольвентное [16]:

$$\phi(\alpha) = \alpha^3 + p\alpha^2 + \left(p^2/4 - r\right)\alpha - g^2/8 = 0. \qquad (1)$$

Очевидно, форма $V(x,y)$ положительно определена только при положительно определенных формах $V_1(x,y)$ и $V_2(x,y)$. Для знакоопределенности форм $V_1(x,y)$ и $V_2(x,y)$ необходимо и достаточно $a_1^2 < 4b_1$; $a_2^2 < 4\,b_2$, откуда, в частности, следует $a^2 + p > 0$; $a^2 < 2\left(a^2 + p - |g/a|\right)$. Это сводится к неравенству $2\alpha\left(\alpha + p\right)^2 - g^2 > 0$. В частности, здесь имеется ограничение $p > -a^2/2 + |g/a| \ge -a^2/2 = -\alpha$, коротко $p > -\alpha$.

Введем в рассмотрение функцию

$$\psi(\alpha) = \alpha^3 + 2\,p\,\alpha^2 + p^2\,\alpha - g^2/2. \qquad (2)$$

Для знакоопределенности $V_1(x,y)$ и $V_2(x,y)$ необходимо и достаточно, чтобы хотя бы на одном из вещественных положительных корней уравнения (1) выполнялось

$$\begin{cases} \phi(\alpha) = 0, \\ \psi(\alpha) > 0. \end{cases} \qquad (3)$$

Исключая свободный член, можно составить неравенство $\psi(\alpha) - 4\phi(\alpha) = -\alpha\left(3\alpha^2 + 2p\alpha - 4r\right) > 0$.

Для значений $\alpha = a^2/2 > 0$ здесь должно выполняться $3\alpha^2 + 2p\alpha - 4r < 0$. Разрешая относительно α, получим $0 < \alpha < \left(\sqrt{p^2 + 12\,r} - p\right)/3$. Далее составим оценку $p > -\alpha > \left(p - \sqrt{p^2 + 12r}\right)/3$, откуда следует $\sqrt{p^2 + 12r} + 2p > 0$. При $p \geq 0$ последнее неравенство выполняется всегда, а при $p < 0$ получается условие $p^2 < 4\,r$. Следовательно, для знакоопределенности форм $V_1(x,y)$ и $V_2(x,y)$ существует первое необходимое условие

$$p > -2\sqrt{r}\,. \qquad (4)$$

Дальше рассматриваются ситуации в зависимости от числа вещественных корней уравнения (1). В случае единственного вещественного решения (1) должно выполняться $Q(p,g,r) > 0$; $\psi(\alpha) > 0$, где $Q(p,g,r)$ – дискриминант кубического уравнения (1). При единственном действительном корне $\phi(\alpha) = 0$ легко установить [21]: , где A – число, выраженное через комплексно-сопряженные корни α_1, α_2; $Res(\phi,\psi)$ – результант полиномов $\phi(\alpha)$, $\psi(\alpha)$. Отметим, что $sign\left(Res(\phi,\psi)\right) = sign\left(\psi(\alpha_3)\right)$. В этом случае система (3) приводится к виду:

$$\begin{cases} Q(p,g,r) > 0, \\ Res(\phi,\psi) > 0. \end{cases}$$

В результате проведенных вычислений с использованием Системы Аналитических Вычислений (САВ) на ПК получено

$$Q(p,g,r) = \frac{\left[27g^4 + 4pg^2\left(p^2 - 36r\right) - 16r\left(p^2 - 4r\right)^2\right]}{432^2}\ ;$$

$$Res(\phi,\psi) = \frac{-g^2\left[27g^4 + 4\,pg^2\left(p^2 - 36r\right) - 16r\left(p^2 - 4r\right)^2\right]}{64}.$$

Так как Q и $Res(\phi,\psi)$ здесь имеют разные знаки, то полученное противоречие исключает существование единственного вещественного корня уравнения (1) для знакоопределенности $V_1(x,y)$ и $V_2(x,y)$. Поэтому полагаем $Q(p,g,r) \leq 0$ и разрешаем относительно g^2:

$$\begin{aligned} &\frac{8}{3}pr - \frac{2}{27}\left(p^3 + \sqrt{\left(p^2 + 12r\right)^3}\right) \leq g^2 \leq \\ &\leq \frac{8}{3}pr + \frac{2}{27}\left(\sqrt{\left(p^2 + 12r\right)^3} - p^3\right). \end{aligned} \qquad (5)$$

Левая часть (5) очевидна, так как $\frac{8}{3}pr - \frac{2}{27}\left(p^3 + \sqrt{\left(p^2 + 12r\right)^3}\right) \leq 0 \leq g^2$. Действительно, справедлива последовательность

$$\left(p^2 + 12r\right)^3 \geq p^6 + 36p^4r + 432p^2r^2 + 12^3r^3$$
$$-108r\left(p^2 - 4r\right)^2 = p^6 - 72p^4r + 36r^2 = \left(p^3 - 36pr\right)^2.$$

Равенство в правой части (5) допускается в случае кратных корней α уравнения (1), но при этом знакопостоянна одна из форм: $V_1(x,y)$ или $V_2(x,y)$. В этом случае знакопостоянна и $V(x,y)$, что подлежит исключению.

Таким образом, вторым условием знакоопределенности форм $V_1(x,y)$ и $V_2(x,y)$ является неравенство

$$g^2 < \frac{8}{3}pr + \frac{2}{27}\left(\sqrt{\left(p^2 + 12r\right)^3} - p^3\right). \qquad (5')$$

Объединяя условия (4) и (5′), получается

Теорема 1. Необходимыми и достаточными условиями положительной определенности формы (1) является система неравенств

$$\begin{cases} p > -2\sqrt{r}, \\ q^2 < \frac{8}{3}pr + \frac{2}{27}\left(\sqrt{\left(p^2 + 12r\right)^3} - p^3\right). \end{cases}$$

2. Примеры применения форм четвертого порядка

В качестве первого примера рассмотрим уравнения движения

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -x_1^3 - 8\,x_1x_2^2 + b\,x_2^3, \\ \dot{x}_2 = 2\,x_1^2x_2 + 3\,x_1x_2^2 - 2\,x_2^3\,. \end{cases} \qquad (6)$$

Ставится задача определения вторым методом Ляпунова наибольшей области значений параметра b, чтобы тривиальное решение (6) было асимптотически устойчиво. При этом нужно оценить: насколько близки к границе устойчивости найденные значения параметра b.

С этой целью составим квадратичную функцию Ляпунова

$$V = -\frac{1}{2}\left(x_1^2 + \alpha x_2^2\right), \qquad (7)$$

где параметр $\alpha > 0$ будем подбирать для нахождения наибольшей области параметрической задачи. Производная V в силу дифференциальных уравнений движения (6) примет вид

$$\dot{V} = x_1^4 + p\,x_1^2x_2^2 + g\,x_1x_2^3 + 2\alpha\,x_2^4\,,$$

где $p = 8 - 2\alpha$; $g = -b - 3\alpha$; $r = 2\alpha$. Выразим $\alpha = (8-p)/2$, при этом $p < 8$, тогда $r = 8 - p$; $g = -b - 12 + 3p/2$. Второе условие теоремы 1 для положительной определенности $\dot{V}$ запишется

$$\left(b - \frac{3p}{2} + 12\right)^2 < 227\left[36p(8-p) - p^3 + \sqrt{\left(p^2 - 12p + 96\right)^3}\right]$$

Отсюда можно получить верхнюю оценку значений параметра b:

$$\psi_1(p) = 3p/2 - 12 - \frac{\sqrt{6}L(p)}{9} < b <$$

$$< 3p/2 - 12 + \frac{\sqrt{6}L(p)}{9} = \psi_2(p),$$

где $L(p) = \sqrt{36\,p(8-p) - p^3 + \sqrt{\left(p^2 - 12p + 96\right)^3}}$.

Для нахождения наибольших значений $\psi_2(p)$ решим уравнение $\left[\psi_2(p)\right]'_p = 0$. Полученное иррациональное уравнение

$$\frac{3}{2}\sqrt{6}L(p) = (p-6)\sqrt{\left(p^2 - 12p + 96\right)^3} - \left(p^2 + 24p - 48\right)$$

простейшими преобразованиями сводится к рациональному

$$\left(p^2 + 4\,p - 32\right)^2\left(4\,p^2 + 7\,p - 200\right) = 0.$$

Решениями последнего уравнения являются $p_1 = -8$; $p_2 = 4$; $p_3 = 25/4 = 6.25$.

Далее всюду применялась САВ. Проведенные вычисления дают следующие значения функции $\psi_2(p)$: $\psi_2(p_1) = -24$; $\psi_2(p_2) = -6 + 32\sqrt{6}/9 \approx$ $\approx 2.7092968632290777$; $\psi_2(p_3) = 4.125$. Здесь наибольшее значение $\psi_2(p_3)$ соответствует локальному максимуму $\psi_2(p)$.

Так как $\psi_1(p)$ не позволяет сразу найти нижнюю границу интервала b, то вычислим наибольшую длину интервала изменения параметра, равную $2\sqrt{6}\,L_{\max}/9$. Поэтому введем в рассмотрение величину $b_1 = \psi_2(p_3) - 2\sqrt{6}\,L_{\max}/9$. Другой характеристикой нижней границы может быть область допустимых значений (ОДЗ) функции $\psi_2(p)$, чтобы нижняя грань интервала b не превосходила наименьшего значения $\psi_2(p)$, т.е. $b_2 = \psi_2(p_1)$ – локальный минимум функции $\psi_2(p)$. Так как допустимы обе введенные величины, то наибольшей областью значений параметра b следует выбрать меньшее из них.

Для получения наибольшего значения $L(p)$ найдем корни уравнения $L'(p) = p^2 + 24\,p - 96 - (p-12)\sqrt{p^2 - 12p + 96} = 0$. Простейшими преобразованиями оно сводится к рациональному

$$7\,p^3 - 12\,p^2 - 48\,p - 384 = 0.$$

Вещественным единственным решением его является $p \approx 5.132626916358363$. Вычислительные выкладки дают следующие значения: $b_1 \approx -11.913205562212681$; $b_2 = -24$. Выбирая меньшее из них, найдем нижней границей значение b_2.

Первое условие теоремы 1 о знакоопределенности приводит к проверке неравенства: $p > -2\sqrt{8-p}$, которое сводится к двум системам

$$1)\ \begin{cases} p < 0, \\ p^2 + 4\,p - 32 < 0, \end{cases} \qquad 2)\ \{p < 6.25\, p \geq 0.$$

Первая система имеет решение $p \in (-24; 0)$, вторая $-p \in [0; 6.25)$. Окончательно в данной задаче область значений параметра b, при которых нулевое решение системы (6) асимптотически устойчиво, определяется интервалом $(-24; 4.125)$.

Конечно, использование функции Ляпунова выше четвертого порядка может давать и более точную оценку границ интервала. Но это приводит к трудности параметрического анализа, к тому же метод полиномиальных функций Ляпунова может не дать точную границу исследуемого параметра [14, 15].

Для исследования нелинейных систем двух переменных получил развитие способ Каменкова, опирающийся на теоремы Г.В. Каменкова [4-6] об асимптотической устойчивости и неустойчивости. Далее проведем оценку параметра b с помощью теоремы Каменкова [4-6] о неустойчивости. С этой целью составим вспомогательные функции $F(x) = x_1X_2 - x_2X_1$ и $R(x) = x_1X_1 + x_2X_2$ для системы $\dot{x}_1 = X_1(x)$; $\dot{x}_2 = X_2(x)$. При обозначении $t = x_1/x_2$ они сводятся к $F(x(t)) = 3t^3 + 3t^2 + 6t - b$; $R(x(t)) = -t^4 - 6t^2 + (b+3)t - 2$.

Согласно теореме Каменкова о неустойчивости [5] (с. 80), [6] (с. 104), если на каком-либо вещественном решении $F(x)$, кроме тривиального $x_1 = x_2 = 0$, выполнится $R(x) > 0$, то тривиальное решение $x_1 = x_2 = 0$ неустойчиво. Поэтому необходимо определить границу области парамет-

ра b, где $R(x)=0$ при $F(x)=0$. Для этого составим результант [21] полиномов $F(x)$ и $R(x)$, равный

$$Res(F,R)=\left(b^2+6b+18\right)\left(8b^2+159b-792\right),$$

который в области устойчивости должен быть отрицательным. Вещественными решениями уравнения $Res(F,R)=0$ являются только два: $b_{11}=-24$; $b_{21}=4.125$.

Таким образом, по теореме Каменкова [4-6] в области $b\in(-\infty;b_{11})\cup(b_{21};+\infty)$ нулевое решение системы (6) неустойчиво, а в области $(b_{11};b_{21})=(-24;4.125)$ по теореме Каменкова об асимптотической устойчивости [5] (с. 83) – нулевое решение системы (6) асимптотически устойчиво.

Учитывая то обстоятельство, что подход Каменкова для двух нулевых корней двух переменных дает необходимые и достаточные условия асимптотической устойчивости, заключаем о полном решении данной задачи.

Следующим примером рассмотрим уравнения движения:

$$\begin{cases}\dot{x}_1=-x_1^3-12\,x_1x_2^2+b\,x_2^3,\\ \dot{x}_2=x_1^2x_2/2+2\,x_1x_2^2-2\,x_2^3.\end{cases}\qquad(8)$$

Также ставится задача определения вторым методом Ляпунова наибольшей области значений параметра b, чтобы тривиальное решение (8) было асимптотически устойчиво.

Составим такую же квадратичную функцию Ляпунова

$$V=-\frac{1}{2}\left(x_1^2+ax_2^2\right),\qquad(9)$$

где параметр $\alpha>0$ будем подбирать для нахождения наибольшей области параметрической задачи, и повторим выкладки первого примера. Производная V в силу дифференциальных уравнений движения (8) примет вид

$$\dot{V}=x_1^4+p\,x_1^2x_2^2+g\,x_1x_2^3+2\alpha\,x_2^4,$$

где $p=12-\alpha/2$; $g=-b-2\alpha$; $r=2\alpha$. Выразим $\alpha=2(12-p)$, при этом $p<12$, и тогда $g=-b-48+4p$; $r=4(12-p)$. Второе условие теоремы 1 положительной определенности $\dot{V}$ здесь запишется

$$(b-4p+48)^2<\frac{2}{27}\left[144p(12-p)-p^3+\sqrt{\left(p^2+48(12-p)\right)^3}\right]$$

Отсюда можно получить верхнюю оценку значений параметра b

$$y_1(p)=4p-48-\frac{\sqrt{6}L(p)}{9}<b<4p-48+\frac{\sqrt{6}L(p)}{9}=y_2(p),$$

где $L(p)=\sqrt{12^3p-144p^2-p^3+\sqrt{\left(p^2-48p+576\right)^3}}$.

Для нахождения наибольших значений $\psi_2(p)$ решим уравнение $\left[\psi_2(p)\right]'_p=0$. Полученное иррациональное уравнение

$$4\sqrt{6}L(p)=(p-24)\sqrt{\left(p^2-48p+576\right)^3}-\left(p^2+96p-576\right)$$

простейшими преобразованиями сводится к рациональному

$$\left(p^2+16\,p-192\right)^2\left(p^2+48\,p-576\right)=0.$$

Приближенные вычисления с точностью 10^{-14} получают решения последнего уравнения $p_1\approx-57.941125496954285$; $p_2=-24$; $p_3=8$;. $p_4\approx125496954282$.

Проведенные вычисления дают следующие значения функции $\psi_2(p)$:
$\psi_2(p_1)\approx-170.50966799187808$; $\psi_2(p_2)=-144$;
$\psi_2(p_3)=-16+128/3\sqrt{3}\approx8.63361148542403$;
$\psi_2(p_4)\approx10.509667991878086$.

Здесь наибольшее значение $\psi_2(p_4)$ соответствует локальному максимуму $\psi_2(p)$.

Также определим значения b_1, b_2. Для получения наибольшего значения $L(p)$ найдем корни уравнения

$$L(p)'=-p^2+96p-576+(p-48)\sqrt{p^2-48p+576}=0.$$

Простейшими преобразованиями оно сводится к рациональному

$$\left(p^2+12\,p+288\right)(7\,p-72)=0.$$

Вещественным единственным решением его является $p_5=72/7\approx10.285714285714285$. Найденное число p_5 не попадает в ОДЗ для функции $\psi_2(p)$, равную $(-57.941125496954285;+9.941125496954282)$. Поэтому наибольшим значением $L(p)$ будет $L(p_4)$. Проведенные вычисления дают следующие значения: $b_1\approx-26.980664016243832$ $b_2\approx-170.50966799187808$. Выбирая меньшее из них, получим нижней границей значение b_2.

Первое условие теоремы 1 приводит к проверке неравенства $p>-2\sqrt{4(12-p)}$, которое

сводится к двум системам

1) $\begin{cases} p < 0, \\ p^2 + 16\,p - 192 < 0, \end{cases}$ 2) $\begin{cases} p < 10.509667991878086, \\ p \ge 0. \end{cases}$

Первая система имеет решение $p \in (-170.50966799187808;\ 0)$, вторая $p \in [0;\ 10.509667991878086)$. Окончательно в данной задаче область значений параметра b, при которых нулевое решение системы (8) асимптотически устойчиво, определяется интервалом $(-170.50966799187808\,;\ 10.509667991878086)$.

Проведем оценку параметра b с помощью теоремы Каменкова [4-6] о неустойчивости. Вспомогательные функции Каменкова приводят здесь к

$$F(x(t)) = 3\,t^3 + 4\,t^2 - 20\,t - 2b\,;$$

$$R(x(t)) = -2\,t^4 - 23\,t^2 + 2(b+2)\,t - 4\,.$$

Согласно теореме Каменкова о неустойчивости [5] (с. 80), [6] (с. 104), если на каком-либо вещественном решении $F(x)$, кроме тривиального $x_1 = x_2 = 0$, выполнится $R(x) > 0$, то тривиальное решение $x_1 = x_2 = 0$ неустойчиво. Поэтому необходимо определить границу области параметра b, где $R(x) = 0$ при $F(x) = 0$. Для этого составим результант [21] полиномов $F(x)$ и $R(x)$, равный

$$Res(F,R) = \left(b^2 + 4\,b + 305/4\right)\left(b^2 + 40\,b - 448\right),$$

который в области устойчивости должен быть отрицательным. Вещественными решениями уравнения $Res(F,R) = 0$ являются только два:

$$b_{11} = -20 - 4\sqrt{54} \approx -170.50966799187808\,;$$

$$b_{21} = -20 + 4\sqrt{54} \approx 10.509667991878084\,.$$

Таким образом, по теореме Каменкова [4-6] в области $b \in (-\infty; b_{11}) \cup (b_{21}; +\infty)$ решение системы (2.3) неустойчиво, а в области $(b_{11}; b_{21}) = (-170.50966799187808; 10.509667991878084)$ по теореме Каменкова об асимптотической устойчивости [5] (с. 83) – нулевое решение системы (8) асимптотически устойчиво.

3. Заключение

Приведенные примеры дают возможность найти наиболее близкие границы достаточных и необходимых условий устойчивости, получаемых двумя разными способами: теоремой Ляпунова [3, 4] об асимптотической устойчивости с квадратичной функцией Ляпунова, и теоремой Каменкова о неустойчивости [4-6]. При этом как нижняя, так и верхняя границы условий асимптотической устойчивости совпадают.

Следовательно, получаемые вторым методом Ляпунова условия асимптотической устойчивости системы (6) достаточно приближены к границе устойчивости. Кроме того в рассматриваемой задаче эти условия решаются знакоопределенными функциями Ляпунова не выше четвертого порядка. Конечно, при большем числе переменных анализ знакоопределенности форм будет значительно сложнее, но существуют задачи и системы, где вопрос об устойчивости стационарного движения успешно решают формы с двумя переменными. Формы двух переменных, даже четвертого порядка, позволяют получить вторым методом Ляпунова наиболее возможные достаточные условия устойчивости движения в некоторых нелинейных системах.

В заключение автор выражает благодарность В.Д. Иртегову за обсуждение статьи.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Садовский А. П. О проблеме центра и фокуса // Дифференциальные уравнения. 1968. Т. 4, № 5. С. 943–945.
2. Садовский А. П. О проблеме различения центра и фокуса для одного случая сложной особой точки // Дифференциальные уравнения. 1986. Т. 22, № 5. С. 789–794.
3. Ляпунов А. М. Общая задача об устойчивости движения // Собр. соч. М.-Л., 1956. Т. 2. С. 7–263.
4. Малкин И. Г. Теория устойчивости движения. М. : Наука, 1966. 530 с.
5. Каменков Г. В. Устойчивость движения, колебания, аэродинамика. М. : Наука, 1971. Т. 1. 255 с.
6. Каменков Г. В. Устойчивость и колебания нелинейных систем. М. : Наука, 1972. Т. 2. 213 с.
7. Хазин Л. Г., Шноль Э. Э. Условия устойчивости равновесия при резонансе 1:3. // Прикладная математика и механика. 1980. Т. 44, вып. 4. С. 229–237.
8. Хазин Л. Г., Шноль Э. Э. Об устойчивости положений равновесия в критических случаях и в случаях, близких к критическим // Прикладная математика и механика. 1981. Т. 45, вып. 4. С. 595–604.
9. Новиков М. А. О знакоопределенности аналитических функций // Метод функций Ляпунова в анализе динамики систем. Новосибирск : Наука, 1988. С. 256–261.
10. Вейссенберг А. Н. Критерии знакоопределенности форм высшего порядка // Прикладная математика и механика. 1974. Т. 38, вып. 3.

С. 571–574.
11. Аминов А. Б., Сиразетдинов Т. К. Условия знакоопределенности четных форм и устойчивости в целом нелинейных однородных систем // Прикладная математика и механика. 1984. Т. 48, вып. 3. С. 339–347.
12. Раппопорт Л. Б. Знакоопределенность квадратичной формы при квадратичных ограничениях и абсолютная устойчивость нелинейных систем // Докл. акад. наук. 1988. Т. 298, № 4. С. 822–826.
13. Чернятин В. А. О знакоопределенности произвольных форм четного порядка // Докл. акад. наук БССР. 1966. Т. 10, № 11. С. 821–823.
14. Утешев А. Ю. Использование однородных форм в качестве функций Ляпунова / Ленингр. гос. ун-т. 1987. № 2942-В87. Серия: Математика, механика, астрономия. С. 13.
15. Утешев А. Ю., Шуляк С. Г. Критерий асимптотической устойчивости системы двух дифференциальных уравнений с однородными правыми частями // Дифференциальные уравнения. 1987. № 6. С. 1009–1014.
16. Иртегов В. Д., Новиков М. А. Знакоопределенность форм четвертого порядка от двух переменных // Метод Ляпунова и его приложения. Новосибирск, 1984. – С. 87–93.
17. Новиков М. А. О знакоопределенности форм двух переменных // Методы оптимизации и их приложения : тр. XIV Байкал. междунар. шк.-семинара, Иркутск – Северобайкальск, 2–8 июля 2008. Иркутск, 2008. Т. 3. С. 134–141.
18. Новиков М. А. Знакоопределенность и теорема Финслера // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2008. Спец. вып. С. 126–132.
19. Гантмахер Ф. Р. Теория матриц. М. : Наука, 1967. 576 с.
20. Березин И. С., Жидков Н. П. Методы вычислений. М., 1960. Т. 2. 620 с.
21. Ван дер Варден. Современная алгебра. М.-Л., 1937. Т. 2. 210 с.

Антошкин С.Б., Мухопад Ю.Ф., Пунсык-Намжилов Д.Ц. УДК 004.3

СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД АНАЛИЗА АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Микроконтроллеры со встроенными аналого-цифровыми преобразователями (АЦП) позволяют создавать автономные экономичные устройства сбора данных, причем частичную обработку результатов преобразования могут выполнять сами микроконтроллеры или специализированные аналого-цифровые преобразователи информации. Обычно встроенные АЦП имеют относительно невысокую разрядность - от 8 до 12 двоичных разрядов. Еще меньшую разрядность имеют АЦП, обладающие способностью работать в СВЧ диапазоне [10-12]. Одним из способов увеличения разрядности в случаях, когда допустимо снижение скорости преобразования, является применение статистических методов [1-4]. При этом к входному сигналу примешивается шум с дисперсией порядка единиц шага квантования так, чтобы распределение уровней шума перекрывало не менее двух интервалов квантования [5]. При снятии достаточно большого количества отсчетов и усреднении результата получается более точное значение измеряемого уровня. Погрешность в этом случае будет меньше, чем величина шага квантования и при большом количестве выборок составит $\delta = \sigma/N^{1/2}$, где σ – дисперсия подмешанного шума. Такой метод применим для медленно меняющихся сигналов. Для сигналов, скорость изменения которых достаточно велика, между входом АЦП и источником сигнала устанавливают устройство выборки и хранения (УВХ), а шум подмешивают к выходному сигналу УВХ. Данный метод увеличения точности преобразования подразумевает то, что АЦП имеет практически идеальную функцию преобразования.

Для реальных АЦП [6] имеются допуски на дифференциальную нелинейность, обычно достигающие половины младшего значащего разряда (МЗР), а полная нелинейность может достигать

нескольких МЗР. Кроме того, имеется погрешность смещения нуля. Указанные погрешности во многих случаях связаны с методом преобразования выбранного АЦП.

Получение достоверных данных о функции преобразования АЦП обычными традиционными методами требуют применение высокоточной измерительной аппаратуры и достаточно большого времени, чтобы выявлять фактические уровни квантования по изменению выходного кода.

В статье рассматривается возможность применения вероятностных методов для получения таких параметров функции преобразования, как смещение нуля, масштаб преобразования и нелинейности.

Для этого на вход АЦП подается сигнал со случайным равновероятным распределением уровней в пределах $U_{max}+\varepsilon<U<U_{min}-\varepsilon$ так, чтобы перекрыть весь диапазон преобразования, и применяется метод Монте-Карло, т.е. выполняется большое количество отсчетов уровней случайного сигнала и производится подсчет количества попаданий в интервал между двумя соседними уровнями квантования. Количество этих отсчетов будет пропорционально разнице уровней квантования. Величина ε должна быть не меньше максимально допустимой погрешности на краях диапазона преобразования. Вполне естественно, что у идеального АЦП для всех интервалов, за исключением $U<U_{min}$ и $U>U_{max}$, заполнение будет равномерным. У реального АЦП по полученным значениям можно рассчитать отклонения уровней квантования от идеальной характеристики и по полученным данным определить поправки. Для решения такой задачи не обязательно применять сигнал с равномерным распределением уровней, но тогда необходимо знать закон этого распределения. На рис. 1 приводится пример уровней квантования для идеального и реального АЦП и функция распределения уровней P(U).

При достаточно большом N - количестве выборок сигнала с распределением уровней P(U) число выборок N_k между заданными уровнями квантования U_k и U_{k+1} рассчитывается по следующей формуле:

$$N_k = \int_{u_k}^{u_{k+1}} P(U)dU \sum_{0}^{2^M-1} N_i, \qquad (1)$$

при равномерном распределении:

$$N_k = P\left|(U_{k+1} - U_k)\right| \sum_{0}^{2^M-1} N_i . \qquad (2)$$

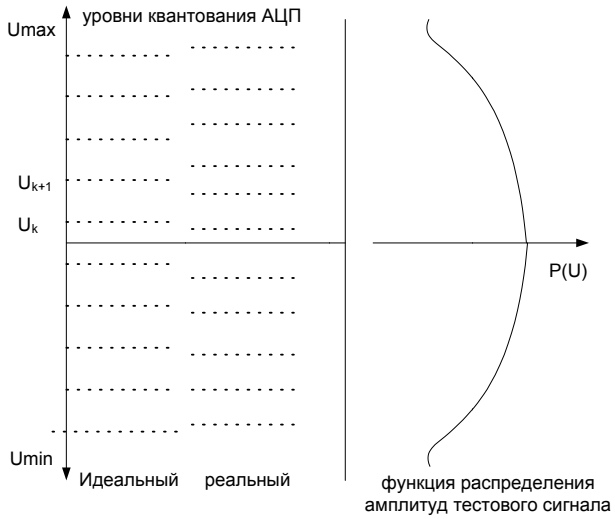


Рис. 1. Уровни квантования и функция распределения

Для определения смещения нуля следует подавать сигнал U_N с равномерным распределением и нулевым математическим ожиданием (т.е. без постоянной составляющей). Тогда при достаточно большом количестве выборок получим значение поправки учета смещения нуля. Для определения масштаба преобразования следует подать смесь из фиксированного уровня U_C, близкого к одному из пределов преобразования и случайного сигнала U_S, но так чтобы общая сумма $U_C + U_S$ не выходила за пределы диапазона преобразования.

Рис. 2 иллюстрирует определение основных опорных уровней.

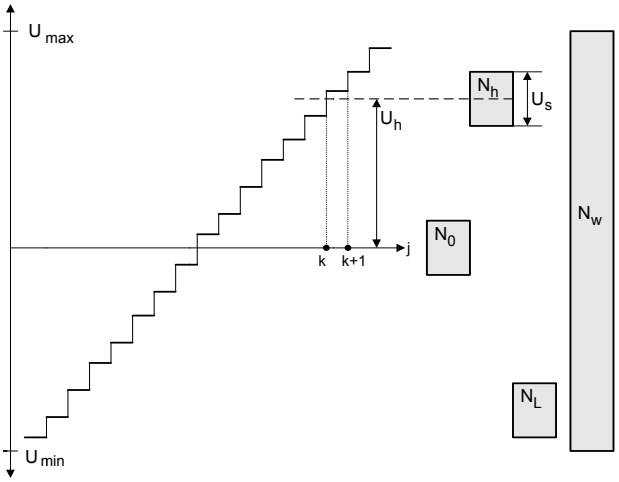


Рис. 2. Определение медиан опорных уровней: N_h , N_0 , N_L – множества тестовых сигналов с равномерным распределением амплитуд в заданных диапазонах для определения медиан верхнего, центрального и нижнего опорных уровней; N_W – множество тестовых сигналов для определения весов интервалов квантования; U_h – контрольное постоянное напряжение для определения верхней опорной точки; U_S – амплитуда случайного сигнала; j – номера уровней квантования; U_{max} - U_{min} – диапазон преобразования АЦП.

Множество N_W предназначено для определения весовых коэффициентов W_j между соседними уровнями квантования. При равномерном распределении N_W и достаточно большом числе реализаций, каждый весовой коэффициент пропорционален разности уровней. При идеальной характеристике преобразования все весовые коэффициенты равны, а при наличии дифференциальных нелинейностей по значениям весовых коэффициентов можно рассчитать фактические значения интервалов квантования. Исключения составляют крайние значения, которые соответствуют значению входного сигнала, выходящему за пределы диапазона преобразования. Для восстановления реальной характеристики преобразователя потребуется как минимум два параметра, это смещение нуля и масштаб преобразования. Эти параметры определяются с помощью тестового сигнала, представляющего сумму постоянного напряжения U_C и шума U_S. Амплитуда шума должна составлять 2 – 4 шага квантования. Для определения смещения нуля следует установить $U_C = 0$, а для определения масштаба преобразования U_C устанавливается в пределах 0,8 – 0,9 от U_{max} или U_{min}. Далее выполняется определение смещения медианы интервала квантования относительно напряжения U_C, что показано на рис. 3.

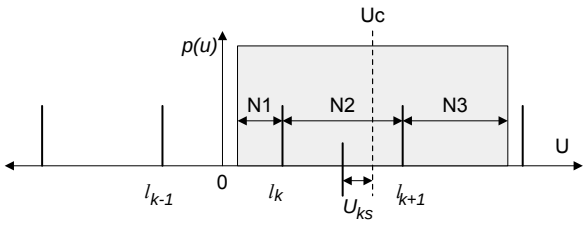


Рис. 3. Определение медианы интервала квантования: N1 – количество выборок попавших ниже уровня l_k , N2 - количество выборок между уровнями l_k и l_{k+1} , N3 - количество выборок выше уровня l_{k+1} , U_{ks} – смещение медианы интервала относительно контрольного напряжения.

Как видно из рис. 3:

$$U_{ks} = U_{cp}\frac{N1 - N3}{2N2}, \qquad (3)$$

где U_{cp} среднее значение МЗР.

Обозначим через U_{CL} и U_{CH} контрольные напряжения для нижнего и верхнего уровней диапазона контроля, а через kH и kL соответствующие им номера интервалов квантования, рассчитаем весовые коэффициенты по следующей схеме:

- определяем среднее количество выборок на интервал квантования N_{cp}:

$$N_{cp} = \frac{\frac{N_{KH} + N_{KL}}{2} + \sum_{j=KL+1}^{KH-1} N_j}{KH - KL + 1}, \qquad (4)$$

- определяем весовые коэффициенты интервалов квантования:

$$W_i = \frac{N_i}{N_{cp}} . \qquad (5)$$

Для дальнейших расчетов обозначим восстановленные уровни медиан интервалов квантования для опорных значений сигнала через V_h, V_0, V_L для верхнего, центрального и нижнего опорных уровней соответственно.

Восстановление уровней квантования выполняется в следующем порядке:

- рассчитываются уровни квантования вокруг центрального интервала:

$$l_k = V_0 - U_{cp}\frac{W_0}{2}, \qquad l_{k+1} = V_0 + U_{cp}\frac{W_0}{2}; \qquad (6)$$

- рассчитываются уровни квантования ниже l_k:

$$l_{k-j} = l_k - U_{cp}\sum_{i=k-1}^{j} W_i , \qquad (7)$$

и выше l_{k+1}:

$$l_{k+1+j} = l_{k+1} + U_{cp}\sum_{i=k+1}^{j} W_i . \qquad (8)$$

При оценке погрешностей исходим из статистической независимости погрешностей порогов квантования и равномерного распределения уровней тестового сигнала на заданном интервале. В этом случае при большом количестве выборок тестового сигнала в каждом интервале преобразования получим среднюю относительную погрешность определения весовых коэффициентов:

$$\delta_W = \frac{1}{\sqrt{N_{cp}}}, \qquad (9)$$

где N_{cp} среднее количество выборок в интервале квантования.

При определении погрешностей измерения медиан опорных уровней δ_V используем выражение (3). Максимальная погрешность будет представлять сумму относительных погрешностей определения интервалов N1, N2, N3 и при такой же плотности распределения выборок, как и для случая определения весовых коэффициентов, получим:

$$\delta_V = |\delta_{N1}| + |\delta_{N2}| + |\delta_{N3}| \approx 3\delta_W . \qquad (10)$$

Таким образом, чтобы погрешности определения опорных уровней и весовых коэффициентов были одного порядка, плотность реализации тестовых сигналов на интервал квантования для

опорных уровней должна быть на порядок выше, чем при определении весовых коэффициентов.

Погрешность восстановления *m*-го порога квантования рассчитывается по следующей формуле:

$$\delta_m = \delta_V + \delta_W \sqrt{|k-m|} \ , \qquad (11)$$

где k - индекс центрального опорного уровня.

Остается открытым вопрос о практической реализации шума с равномерным распределением. Авторы статьи предлагают следующий относительно простой способ реализации такого сигнала, основанный на выборках со случайными интервалами времени из линейно меняющегося сигнала. В качестве исходного сигнала воспользуемся линейным пилообразным напряжением. Современная элементная база позволяет реализовать генератор пилообразного напряжения с высокой линейностью. Рис. 4 иллюстрирует получение выборок со случайными значениями уровней.

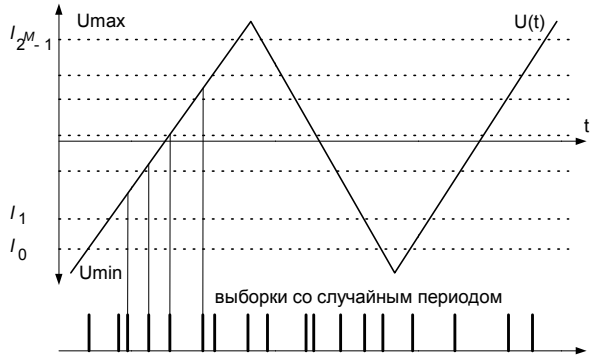


Рис. 4. Формирование выборок с равномерным распределением уровня

Применение линейно изменяющегося во времени сигнала позволяет получить весьма близкое к равномерному распределение уровней выборок в пределах интервалов от U_{min} до U_{max}. Выборки, выходящие за эти пределы, не учитываются, т.к. во первых в момент переключения знака изменения сигнала нарушается линейность и во вторых в реальных условиях эти значения выходят за диапазон преобразования АЦП.

На рис. 5 приведен пример структурной схемы устройства снятия реальной характеристики преобразования методом статистических измерений.

Аналоговый коммутатор (КОМ) управляется от микропроцессорной системы (МПС) и предназначен для выбора источника сигнала. В режиме снятия переходной характеристики подключается один из выходов источника опорных напряжений (ИОН), вырабатывающего опорные уровни U_C (п.п. 3.1), к входу устройства выборки – хранения (УВХ). На аналоговом сумматоре (СУМ) выполняется сложение уровня U_C с треугольным напряжением, поступающим через управляемый делитель напряжения (УДН) с выхода генератора треугольного напряжения (ГТН). Запуск АЦП производится формирователем импульсов со случайным периодом (ФИСП). УДН управляется от МПС и при измерениях весовых коэффициентов интервалов квантования обеспечивает амплитуду треугольного напряжения, перекрывающую диапазон преобразования АЦП, при этом аналоговый коммутатор подключает к входу сумматора уровень U_C, соответствующий середине диапазона преобразования (для двухполярного АЦП U_C =0). При определении масштаба преобразования и измерения смещения нуля УДН устанавливается в режим, соответствующий амплитуде треугольного напряжения в 2-4 МЗР. Считывание данных (data) МПС производит по сигналу готовности (RDY) АЦП и разрешает ФИСП формирование импульса запуска АЦП со случайной задержкой.

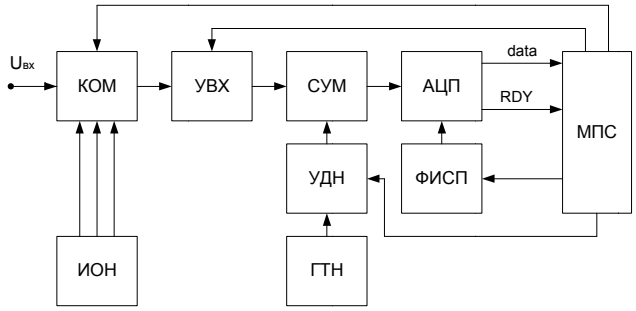


Рис. 5. Структура устройства снятия характеристики преобразования АЦП методом статистических измерений

Предлагаемый статистический метод снижения погрешностей аналого-цифровых преобразований применим в устройствах, не требующих высокой скорости преобразования, имеющих относительно небольшую разрядность (6 - 10 двоичных разрядов), и обладающих встроенной энергонезависимой памятью поправок. К таким устройствам относятся системы сбора данных на базе персональных компьютеров и автономные устройства сбора данных на базе программируемых микроконтроллеров, имеющих встроенные АЦП и энергонезависимую память данных.

На кафедре «Управление техническими системами» ИрГУПСа разработан и изготовлен лабораторный стенд, использующий статистический метод снятия характеристик преобразования АЦП встроенных в микроконтроллеры фирмы Micro-Chip. Стенд используется в учебном процессе.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Балтрашевич В. Э. Вероятностный анализ следящих АЦП // Известия ЛЭТИ. 1981. Вып. 291. С.11–16.

2. Буйнявичюс В.-А. В., Карпицкайте В.-З. Ф., Пятрикис С.-Р. С. Статистические методы в радиоизмерениях. М. : Радио и связь, 1985. 240 с.
3. Губарев В. В. Алгоритмы спектрального анализа случайных сигналов : моногр. Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2005. 660 с.
4. Купер Дж., Макгиллем К. Вероятностные методы анализа сигналов и систем : пер. с англ. М. : Мир, 1989. 376 с.
5. Лазарев Е. А. Вострецов А. Г. Оценивание напряжения с помощью аналого-цифровых систем с добавочным шумом // Сб. науч. тр. НГТУ. Новосибирск, 2005. Вып. 3(41). С.145–148.
6. Гнатек Ю. Р. Справочник по цифро-аналоговым и аналого-цифровым преобразователям : пер. с англ. / под ред. Ю. А. Южина. М. : Радио и связь, 1982. 552 с.
7. Пат. 44436 Российская Федерация. МПК[7] U 1 H 03 M 1/10, 1/26. Двухступенчатый АЦП с коррекцией погрешностей / Антошкин С. Б., Мухопад Ю. Ф. ; заявл. 17.08.84, № 200041255330/22 ; опубл. 10.03.2005, Бюл. № 7. 2 с.
8. Мухопад Ю. Ф. Микроэлектронные информационно-управляющие системы. Иркутск : ИрГУПС, 2004. 404 с.
9. Пунсык-Намжилов Д. Ц. Динамически перестраиваемые аналого-цифровые преобразователи информации для автоматизации технологических процессов : автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук / Томск. ин-т автоматизир. сист. упр. и радиоэлектроники. Томск, 1986. 23 с.
10. Мухопад Ю. Ф., Пуртов А. В. Использование принципов и элементов СВЧ техники для построения быстродействующих АЦП // Автометрия. 1978. № 11.
11. Пуртов А. В., Мухопад Ю. Ф. Аналого-цифровой преобразователь. АС СССР № 1290305 БИ N17, 1987.
12. Молодкин В. А. Мухопад Ю. Ф. Следящие аналого-цифровые преобразователи на основе реверсивных счетчиков // Радиотехника. 1976. № 31. С. 76-80.

Упырь Р.Ю. УДК 531.3

ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РАСШИРЕНИЯ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Если введение дополнительных связей в механические колебательные системы цепного типа достаточно подробно рассмотрены в работах [1, 2], то системы балочного типа изучались в несколько иных направлениях [3, 4]. Пусть расчетная схема виброзащитной системы имеет вид как показано на рис.1, *а*; при этом внешнее воздействие носит кинематический характер.

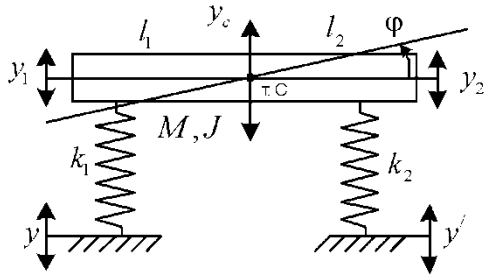


Рис. 1. Расчетная схема виброзащитной системы балочного типа

I. Составим систему дифференциальных уравнений движения, используя уравнение Лагранжа 2-го рода, тогда

$$T = \frac{1}{2}M\dot{y}_c^2 + \frac{1}{2}J\dot{\varphi}^2, \qquad (1)$$

$$\Pi = \frac{1}{2}k_1\left(y_1 - y\right)^2 + \frac{1}{2}k_2\left(y_2 - y^/\right)^2. \qquad (2)$$

Для дальнейших расчетов примем соотношения:

$$\varphi = \frac{y_2 - y_1}{l_1 + l_2} = a_3;\ y_c = \frac{y_1 l_2 + y_2 l_1}{l_1 + l_2} = a_1 y_1 + a_2 y_2;$$

$$a_3 = \frac{1}{l_1 + l_2};\ a_2 = \frac{l_1}{l_1 + l_2};\ a_1 = \frac{l_2}{l_1 + l_2};\ y_1 = y_c - l_1\varphi;$$

$$y_2 = y_c + l_2\varphi. \qquad (3)$$

Производя ряд обычных операций дифференцирования, получим:

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{y}_1} = Ma_1^2\dot{y}_1 + Ma_1a_2\dot{y}_2 + Ja_3^2\dot{y}_1 - Ja_3^2\dot{y}_2, \frac{\partial T}{\partial \dot{y}_2} =$$

$$= Ma_2^2\dot{y}_2 + Ma_1a_2\dot{y}_1 + Ja_3^2\dot{y}_2 - Ja_3^2\dot{y}_1$$

$$\frac{\partial \Pi}{\partial y_1} = k_1y_1 - k_1y\ ,\ \frac{\partial \Pi}{\partial y_2} = k_2y_2 - k_2y^{/}\ ,$$

откуда найдем дифференциальные уравнения движения, используя формализм Лагранжа

$$\ddot{y}_1\left(Ma_1^2 + Ja_3^2\right) + \left(Ma_1a_2 - Ja_3^2\right)\ddot{y}_2 + k_1y_1 = k_1y\ ; \quad (4)$$

$$\ddot{y}_2\left(Ma_2^2 + Ja_3^2\right) + \left(Ma_1a_2 - Ja_3^2\right)\ddot{y}_1 + k_2y_2 = k_2y^{/}\ . \quad (5)$$

Структурная схема, соответствующая расчетной схеме на рис.1, имеет вид, как показано на рис. 2.

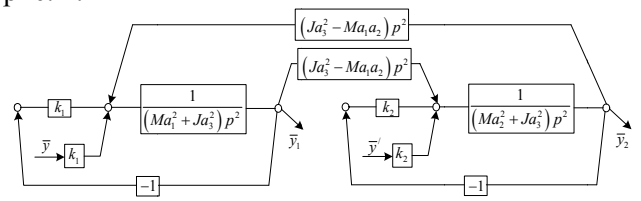


Рис. 2. Структурная схема виброзащитной системы балочного типа при кинематическом возмущении

Передаточные функции виброзащитной системы (ВЗС) определяются (при $y = y^{/}$) на основе правил структурных преобразований [5]:

$$W_1(p) = \frac{\bar{y}_1}{\bar{y}} = \frac{k_1\left[\left(Ma_2^2 + Ja_3^2\right)p^2 + k_2\right] + k_2p^2\left[\left(Ja_3^2 - Ma_1a_2\right)\right]}{\left[\left(Ma_1^2 + Ja_3^2\right)p^2 + k_1\right]\left[\left(Ma_2^2 + Ja_3^2\right)p^2 + k_2\right] - \left(Ja_3^2 - Ma_1a_2\right)^2p^4}; \quad (6)$$

$$W_2(p) = \frac{\bar{y}_2}{\bar{y}} = \frac{k_2\left[\left(Ma_1^2 + Ja_3^2\right)p^2 + k_1\right] + k_1p^2\left[\left(Ja_3^2 - Ma_1a_2\right)\right]}{\left[\left(Ma_1^2 + Ja_3^2\right)p^2 + k_1\right]\left[\left(Ma_2^2 + Ja_3^2\right)p^2 + k_2\right] - \left(Ja_3^2 - Ma_1a_2\right)^2p^4}; \quad (7)$$

$$W_3(p) = \frac{\bar{y}_2}{\bar{y}_1} = \frac{k_2\left[\left(Ma_1^2 + Ja_3^2\right)p^2 + k_1\right] + k_1p^2\left[\left(Ja_3^2 - Ma_1a_2\right)\right]}{k_1\left[\left(Ma_2^2 + Ja_3^2\right)p^2 + k_2\right] + k_2p^2\left[\left(Ja_3^2 - Ma_1a_2\right)\right]}. \quad (8)$$

Анализ выражений (6), (7) позволяет придать структурной схема на рис.2 иной вид, используя правила введения типовых звеньев с передаточной функцией $\left(Ja_3^2 \cdot p^2\right)$ (рис. 3).

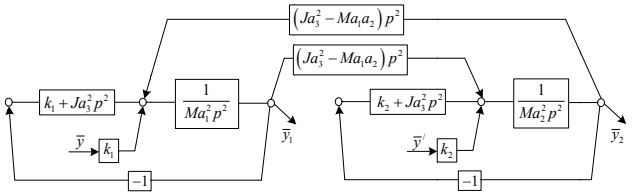


Рис. 3. Структурная схема ВЗС при перестановке типовых звеньев

Соответствующие изменения можно ввести в исходную (рис.1) расчетную схему, которая принимает вид, как показано на рис.4.

Сравнение расчетных схем на рис.1 и рис. 4 показывает, что система балочного типа может быть отображена комбинацией систем с одной степенью свободы.

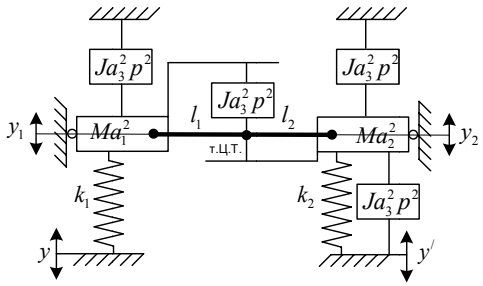


Рис. 4. Расчетная схема ВЗС балочного типа с введенными типовыми звеньями

Однако, взаимодействие между массами Ma_1^2 и Ma_2^2 носит иной характер – здесь участвует рычажное звено. Помимо обычной связи, вводимой дифференцирующим звеном второго порядка $\left(Ja_3^2 \cdot p^2\right)$ между массами действует перекрестная связь $W_{пер}(p) = Ma_1a_2 \cdot p^2$. Эта связь вводится новым типовым звеном – рычагом, которое отражает действие инерционной силы, вызванной движением по координате y_1, на движение по координате y_2. В свою очередь, инерционная сила, возникающая при движении по координате y_2, через рычажное звено действует на движение по координате y_1.

Проводя ряд преобразований, расчетную схему на рис. 4, можно представить так, как показано на рис. 5. Используя (6), запишем –

$$W_1(p) = \frac{\bar{y}_1}{\bar{y}} = \frac{k_1\left[\left(Ma_2^2 + Ja_3^2\right)p^2 + k_2\right]}{\left[\left(Ma_1^2 + Ja_3^2\right)p^2 + k_1\right]\left[\left(Ma_2^2 + Ja_3^2\right)p^2 + k_2\right] - \left(Ja_3^2 - Ma_1a_2\right)^2p^4}$$

или

$$W_1(p) = \frac{\bar{y}_1}{\bar{y}} = \frac{k_1}{\left(Ma_1^2 + Ja_3^2\right)p^2 + k_1 - \dfrac{\left(Ja_3^2 - Ma_1a_2\right)^2p^4}{\left[\left(Ma_2^2 + Ja_3^2\right)p^2 + k_2\right]}}. \quad (9)$$

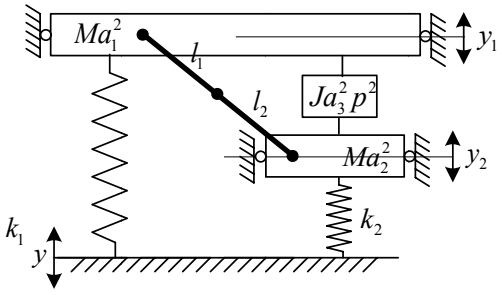


Рис. 5. Расчетная схема исходной ВЗС при введении дополнительных типовых звеньев и рычажной связи

Колебательные процессы в соответствии с расчетной схемой на рис. 5 будут развиваться с учетом того, что параллельно пружине k_1 присоединяется обобщенная пружина с жесткостью

$$K_{об}(p)=\frac{\left(Ma_1a_2-Ja_3^2\right)^2 p^4}{\left(Ma_2^2+Ja_3^2\right)p^2+k_2}. \qquad (10)$$

При $\omega=0$ $\left|K_{об}(p)\right|=0$, а коэффициент передачи амплитуды колебаний со стороны основания (при $y^{/}=0$), будет равен 1(см.выражение (9)). Модуль передаточной функции обобщенной пружины имеет вид

$$\left|K_{об}(p)\right|=\left|\frac{\omega^4\left(Ma_1a_2-Ja_3^2\right)^2}{k_2-\omega^2\left(Ma_2^2+Ja_3^2\right)}\right|. \qquad (11)$$

При частоте

$$\omega=\sqrt{\frac{k_2}{Ma_2^2+Ja_3^2}} \qquad (12)$$

жесткость обобщенной пружины становится равной бесконечности, а амплитуда колебаний по y_1 будет равна нулю. (см. выражение (10)) (то есть реализуется режим динамического гашения колебаний).

При частоте колебаний, равной

$$\omega=\sqrt{\frac{k_1}{Ma_1^2+Ja_3^2}}, \qquad (13)$$

коэффициент передачи амплитуды колебаний по y_1 имеет значение

$$W(p)=\frac{\bar{y}_1}{\bar{y}}=\frac{k_1\left(Ma_1^2+Ja_3^2\right)\left[k_2\left(Ma_1^2+Ja_3^2\right)-k_1\left(Ma_2^2+Ja_3^2\right)\right]}{-k_1^2\left(Ja_3^2-Ma_1a_2\right)^2}. \qquad (14)$$

Если

$$k_2\left(Ma_1^2+Ja_3^2\right)=k_1\left(Ma_2^2+Ja_3^2\right), \qquad (15)$$

то $\left|W(p)\right|=0$, что в физическом плане соответствует режиму динамического гашения.

II. Проведем проверку правомерности введения рычажной связи, используя расчетную схему на рис. 5. При принятых на рис. 5 обозначениях можно вывести уравнение движения двумя способами.

Первый – заключается в том, чтобы использовать принцип Даламбера первого рода, составляя условие кинетостатического равновесия для массоинерционных элементов Ma_1^2 и Ma_2^2, тогда:

$$Ma_1^2\ddot{y}_1=-k_1\left(y_1-y\right)+Ja_3^2\left(\ddot{y}_1-\ddot{y}_2\right)-$$
$$-Ma_1a_2\ddot{y}_2=0; \qquad (16)$$

$$Ma_2^2\ddot{y}_2=-k_2y-Ja_3^2\left(\ddot{y}_1-\ddot{y}_2\right)-$$
$$-Ma_1a_2\ddot{y}_1=0. \qquad (17)$$

Что касается последних членов уравнений (16), (17) – Ma_1a_2, то их появление связано с передачей инерционной силы на массу Ma_1^2 со стороны координаты y_2 через рычаг, имеющий плечи l_1 и l_2, закрепленный в центре тяжести. Тогда из $Ma_2^2\cdot\ddot{y}_2\cdot l_2=F\cdot l_1$, найдем

$$F=\frac{Ma_2^2\cdot\ddot{y}_2\cdot l_2}{l_1}=\frac{Ml_1^2\cdot\ddot{y}_2\cdot l_2}{\left(l_1+l_2\right)^2 l_1}=Ma_1a_2\ddot{y}_2. \qquad (18)$$

Сила F прикладывается к массоинерционному элементу по координате y_1 и, в силу рычажных взаимодействий, направлена в сторону противоположную движению по координате y_1. Аналогично может быть получен последний член второго уравнения (17). В таком виде система уравнений (16), (17) совпадает с полученными уравнениями при $y^{/}=0$.

Особенность рассмотренного подхода заключается в том, что расчетная схема на рис. 1 представлена двумя парциальными блоками (или системами, которые совершают поступательное прямолинейное движение, то есть оба блока совершают один и тот же вид движения. Масса объекта защиты разнесена по координатам движения.

Важным для нас является то обстоятельство, что в расчетной схеме ВЗС в виде балочной структуры (балка на двух упругих опорах) присутствует рычажное звено, которое реализует перекрестные связи инерционного типа.

Второй подход связан с рассмотрением такого разбиения исходной системы на парциальные блоки, когда один из них совершает прямолинейное движение, а второй – вращательное. Последнее связано с выбором системы координат, связанных с прямолинейным движением центра тяжести объекта защиты, в котором сосредоточена масса объекта и вращательного движения вокруг центра масс.

Используя расчетную схему на рис. 1и выражения для кинетической и потенциальной энергии (1), (2), тогда с учетом соотношений (3), можно получить систему дифференциальных уравнений движения в обобщенных координатах y_c и φ:

$$M\ddot{y}_c+y_c\left(k_1+k_2\right)+\varphi\left(k_2l_2-k_1l_1\right)=k_2y^{/}+k_1y,$$
$$J\ddot{\varphi}+\varphi\left(k_1l_1^2+k_2l_2^2\right)+y_c\left(k_2l_2-k_1l_1\right)=k_2l_2y^{/}+k_1l_1y. \qquad (19)$$

Соответствующая системе уравнений (19) структурная схема эквивалентной в динамическом отклонении системы автоматического управления представлена на рис. 6.

Отметим, что в данном случае системе состоит из двух парциальных блоков, отражающих соответственно прямолинейное и вращательное

движение объекта защиты. В системе имеются также и перекрестные связи, которыми между собой связаны парциальные блоки. Эти связи отражают силовые взаимодействия и называются упругими перекрестными связями [6].

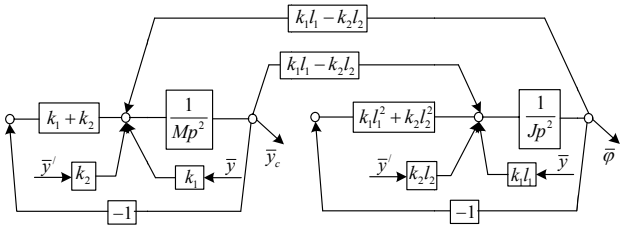


Рис. 6. Структурная схема ВЗС (соответствует расчетной схеме на рис. 1) в обобщенных координатах y_c и φ

Передаточные функции ВЗС при $y^{/}=y$ имеют вид

$$W_1(p)=\frac{\bar{y}_c}{\bar{y}}=\frac{(k_1+k_2)\left(Jp^2+k_1l_1^2+k_2l_2^2\right)-(k_1l_1-k_2l_2)^2}{\left(Jp^2+k_1l_1^2+k_2l_2^2\right)\left(Mp^2+k_1+k_2\right)-(k_1l_1-k_2l_2)^2}; \quad (20)$$

$$W_2(p)=\frac{\bar{\varphi}}{\bar{y}}=\frac{(k_1+k_2)(k_1l_1-k_2l_2)+(k_2l_2-k_1l_1)\left(Mp^2+k_1+k_2\right)}{\left(Jp^2+k_1l_1^2+k_2l_2^2\right)\left(Mp^2+k_1+k_2\right)-(k_1l_1-k_2l_2)^2}. \quad (21)$$

Рассмотрим знаменатель (20) или частотное уравнение, откуда получим

$$W_1(p)=\frac{\bar{y}_c}{\bar{y}}\frac{(k_1+k_2)-\frac{(k_1l_1-k_2l_2)^2}{\left(Jp^2+k_1l_1^2+k_2l_2^2\right)}}{Mp^2+k_1+k_2-\frac{(k_1l_1-k_2l_2)^2}{\left(Jp^2+k_1l_1^2+k_2l_2^2\right)}}, \quad (22)$$

что позволяет трансформировать расчетную схему, приведенную на рис. 5, трансформировать к виду, как показано на рис. 7, где введена обобщенная пружина $K_{об}(p)$, отражающего динамическое воздействие со стороны парциального блока вращательного движения.

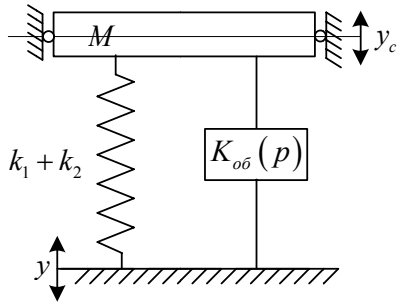


Рис. 7. Расчетная схема ВЗС как системы с одной степенью свободы по координате y_c с введенной обобщенной пружиной $K_{об}(p)$

Отметим, что в данном случае введение обобщенной пружины происходит в соответствии с правилами введения дополнительной обратной связи по относительному отклонению.

Схема внешнего нагружения, в целом, имеет большое значение, так как определяет детализированные представления о передаточных функциях ВЗС, которые образуют некоторое множество частотных характеристик. Если полагать, что $y^{/}=0$, то схема внешнего нагружения изменится и выражения (20) и (21) примут вид

$$W_1(p)=\frac{\bar{y}_c}{\bar{y}}=\frac{k_1\left(Jp^2+k_1l_1^2+k_2l_2^2\right)-(k_1l_1)^2}{\left(Jp^2+k_1l_1^2+k_2l_2^2\right)\left(Mp^2+k_1+k_2\right)-(k_1l_1-k_2l_2)^2}; \quad (23)$$

$$W_2(p)=\frac{\bar{\varphi}}{\bar{y}}=\frac{k_1(k_1l_1-k_2l_2)-k_1l_1\left(Mp^2+k_1+k_2\right)}{\left(Jp^2+k_1l_1^2+k_2l_2^2\right)\left(Mp^2+k_1+k_2\right)-(k_1l_1-k_2l_2)^2}. \quad (24)$$

Сравнивая (20) и (21) с выражениями (23), (24), найдем, что передаточная функция обобщенной пружины

$$K_{об}(p)=\frac{(k_1l_1-k_2l_2)^2}{Jp^2+k_1l_1^2+k_2l_2^2} \quad (25)$$

не изменится, тогда как передаточная функция ВЗС $W^{/}(p)=\bar{y}_c/\bar{y}$. претерпевает изменения. Последнее связано с тем, что обобщенна пружина формирует «скрытые» силы по координате φ, вызванные действием кинематического возмущения y при $y^{/}=0$. Методика учета действия «скрытых» сил была рассмотрена автором статьи в работе [7]. Выбор системы обобщенных координат (в данном случае y_c и φ) предопределяет возможности составления дифференциальных уравнений движения ВЗС с использованием принципа Даламбера, а расчетная схема ВЗС может быть трансформирована к виду, как показано на рис. 8.

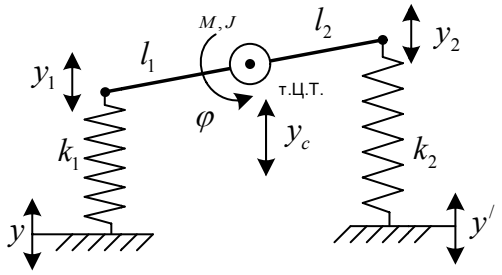


Рис. 8. Расчетная схема ВЗС для вывода дифференциальных уравнений в обобщенных координатах y_c и φ

Будем полагать, что структурная схема ВЗС с использованием обобщенных координат y_c и φ имеет вид, как показано на рис. 6. В этом случае можно рассматривать два парциальных блока. Первый – состоит из массоинерционного элемента массой M (точнее материальной точки массой M), который опирается на пружины с жесткостями k_1 и k_2 соответственно, то есть элемент дви-

жется прямолинейно, имея суммарную жесткость $k_1 + k_2$.

Второй элемент можно представить себе в виде рычага с моментом инерции, имеющего в центре тяжести подвижное соединение (вращательную кинематическую пару) с массоинерционными элементами. Если вращательное движение «занулить», то парциальный блок массой M будет колебаться на пружине с жесткостью $k_1 + k_2$. При занулении прямолинейного движения возможен поворот рычага с моментом инерции J вокруг точки А. Принципиально важным для нас обстоятельством является то, что при рассмотрении движения ВЗС с расчетной схемой (рис. 1.) балочного типа как при выборе обобщенных координат в виде y_1 и y_2, так и при выборе y_c и φ, в расчетные и соответствующие структурные схемы должны вводиться и учитываться рычажные взаимодействия.

Воспользуемся уравнением Лагранжа 2-го рода, чтобы найти уравнения движения ВЗС (рис. 1) в координатах y_c и φ. Тогда выражения для кинетической и потенциальной энергии имеют вид

$$T = \frac{1}{2}M\dot{y}_c^2 + \frac{1}{2}J\dot{\varphi}^2,$$

$$\Pi = \frac{1}{2}k_1\left(y_c - l_1\varphi\right)^2 + \frac{1}{2}k_2\left(y_c + l_2\varphi\right)^2.$$

Получив

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{y}_c} = M\dot{y}_c,\ \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} = J\dot{\varphi},$$

$$\frac{\partial \Pi}{\partial y_c} = k_1 y_c - k_1 l_1\varphi + k_2 y_c + k_2 l_2\varphi,$$

$$\frac{\partial \Pi}{\partial \varphi} = k_1 l_1^2\varphi - k_1 l_1 y_c + k_2 l_2^2\varphi + k_2 l_2 y_c,$$

запишем систему дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} &M\ddot{y}_c + y_c\left(k_1 + k_2\right) + \left(k_2 l_2 - k_1 l_1\right)\varphi = 0, \\ &J\ddot{\varphi} + \varphi\left(k_1 l_1^2 + k_2 l_2^2\right) + \left(k_2 l_2 - k_1 l_1\right)y_c = 0. \end{aligned} \quad (26)$$

В этих уравнениях не учтены внешние воздействия, однако их введение производится обычным способом, через выражения для потенциальной энергии ВЗС (вводятся y и $y^{/}$). Используя понятие обобщенной пружины можно построить соответственно две расчетные схемы, как показано на рис. 9, *а*, *б*.

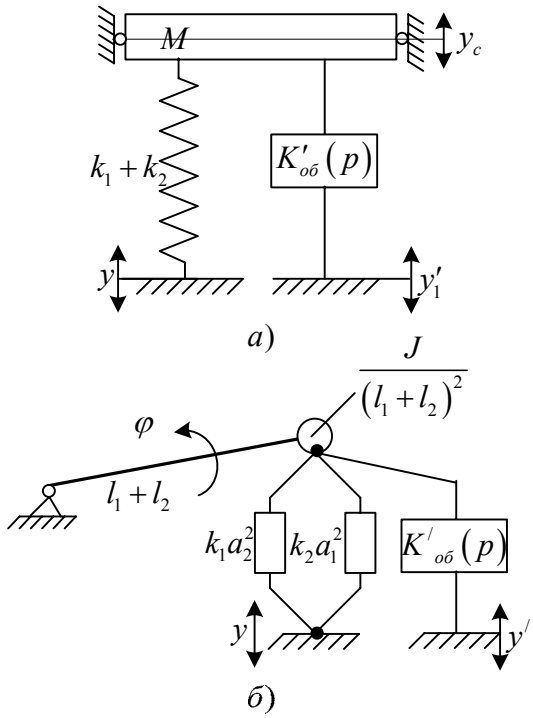


Рис. 9. Расчетные схемы для ВЗС с приведением парциального вращательного блока к поступательному – (а) и поступательного к вращательному– (б)

Для случая на рис. 9, *а* передаточная функция обобщенной пружины имеет вид

$$K^{/}_{об}(p) = -\frac{\left(k_1 l_1 - k_2 l_2\right)^2}{Jp^2 + k_1 l_1^2 + k_2 l_2^2}, \quad (27)$$

а для случая на рис. 9, *б* соответственно –

$$K^{//}_{об}(p) = -\frac{\left(k_1 l_1 - k_2 l_2\right)^2}{Mp^2 + k_1 + k_2}. \quad (28)$$

Уравнения движения могут быть получены и на основе принципа Даламбера. Взяв точку центр тяжести балки (рис.), запишем условие кинетостатического равновесия

$$M\ddot{y}_c + y_c\left(k_1 + k_2\right) + \varphi\left(k_2 l_2 - k_1 l_1\right) = 0. \quad (29)$$

Составив сумму моментов всех сил относительно центра тяжести, найдем

$$J\ddot{\varphi} + \varphi\left(k_1 l_1^2 + k_2 l_2^2\right) + \left(k_2 l_2 - k_1 l_1\right)y_c = 0. \quad (30)$$

Внешние силы в виде кинематического и силового возмущения в данном случае не учитывались. Последние члены в уравнениях (29) и (30) отражают свойства силового (упругого) взаимодействия между парциальными системами.

Таким образом, при рассмотрении ВЗС более сложной природы, чем простые цепные системы, к числу типовых элементов механических колебательных систем необходимо добавить как минимум еще одно специальное звено, передаточная функция которого отражает физические свойства

масштабирования параметров сигнала (для связей в виде рычага первого или второго рода) или масштабирования с одновременным изменением направления движения точек закрепления рычага с типовыми элементами ВЗС.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Вейц В. Л., Кочура А. Е. Динамика машинных агрегатов двигателями внутреннего сгорания. Л. : Машиностроение, 1976. 314 с.
2. Мямлин С. В. Моделирование динамики рельсовых экипажей. Днепропетровск: Новая идеология, 2002. 240с.
3. Соколов М. М., Хусидов В. Д., Минкин Ю. Г. Динамическая нагруженность вагона. М. : Транспорт, 1981. 208 с.
4. Соколов М. М., Варавва В. И., Левит Г. М. Гасители колебаний подвижного состава : справ. М. : Транспорт, 1985. 216 с.
5. Математическое моделирование колебаний рельсовых транспортных средств / под ред. В. Ф. Ушкалова. – Киев : Наук. думка, 1989. 240 с.
6. Коган А. Я. Динамика пути и его взаимодействие с подвижным составом. М. : Транспорт, 1997. 326 с.
7. Елисеев С. В., Упырь Р. Ю. Мехатронные подходы в задачах вибрационной защиты машин и оборудования // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2008. Вып. 4 (20). С. 8–16.

Chunhua Li

УДК 519.6

ON FAZZY CONGRUENCES OF ABUNDANT SEMIGROUPS

Introduction. The concepts of fuzzy equivalent relations on a set were introduced by Murali [10] and Nemitz [11], respectively. Samhan [8] defined fuzzy congruence relations on semigroups. In 2001, Tan [15] studied fuzzy congruences on a regular semigroups. As a generalization of regular semigroups in the range of abundant semigroups, El-Qallali and Fountain [1] introduced abundant semigroups. After that, various classes of abundant semigroups are researched (see, [2, 12-14]). In this paper, we shall study fuzzy congruence classes on abundant semigroups which preserve the Green's*-relation L^* and R^* with respect to the binary operation "*" (see, [7]). We call them fuzzy-* congruences. We shall proceed as follows: section 1 provides some known results. In section 2, we define fuzzy-* congruences on abundant semigroups and give some characterizations of fuzzy-* congruences on such semigroups. The last section we consider fuzzy-* congruences on the satisfying regularity condition semigroups, and give homomorphism theorems.

1. Preliminaries. Throughout this paper we shall use the notions and notations of [1,3-7]. Other undefined terms can be found in [9]. We provide some known results used repeatedly, as well as some notations.

Let X be a non-empty set. A fuzzy subset f of X is a function of X into the closed interval $[0,1]$. A fuzzy relation μ on X is a map from $X \times X$ to $[0,1]$. For all $x \in X$, $f(x)$ can be thought of as the degree of membership of x in f.

Definition 1.1[7]. Let μ and ν be fuzzy relations on a semigroup S. Then the product $\mu \circ \nu$ of μ and ν is defined by $\mu \circ \nu(a,b) = \vee_{x \in S} \{\mu(a,x) \wedge \nu(x,b)\}$ for all $x, y \in S$, and $\mu \subseteq \nu$ is defined by $\mu(x,y) \le \nu(x,y)$ for all $x, y \in S$.

Definition 1.2[7]. A fuzzy relation μ on a semigroup S is called a fuzzy equivalence relation on S if

(1) $\mu(a,a) = 1$ for all $a \in S$;

(2) $\mu(a,b) = \mu(b,a)$ for all $a, b \in S$;

(3) $\mu \circ \mu \subseteq \mu$.

Definition 1.3[7]. A fuzzy relation μ on a semigroup S is called left compatible if $\mu(xa, xb) \ge \mu(a,b)$, for all $a, b, x \in S$. Dually, we can define right compatible.

Let μ be a fuzzy equivalence relation on a semigroup S. For each $a \in S$, we define a fuzzy sub-

set μ_a of S as follows: $\mu_a(x) = \mu(a,x)$ for all $x \in S$. A fuzzy equivalence relation μ on S which is (left, right) compatible is called a fuzzy (left,right) congruence on S. We denote by C_ρ the characteristic function of a binary relation ρ on S. Then, as is easily seen, ρ is a (left, right)congruence on S if and only if C_ρ is a fuzzy (left, right) congruence on S. Let μ be a fuzzy congruence on a semigroup S. Then $S/\mu = \{\mu_a \mid a \in S\}$. Define the binary operation "* "on S/μ as follows: $\mu_a * \mu_b = \mu_{ab}$ $(\forall a,b \in S)$, We can prove that S/μ is a semigroup with respect to the binary operation "* ".

Lemma 1.4[7]. Let μ be a fuzzy equivalence relation on a semigroup S, and let $a,b \in S$. Then $\mu_a = \mu_b$ if and only if $\mu(a,b) = 1$.

Next, we recall some of the basic facts about the relations L^* and R^*.

Lemma 1.5[1]. Let S be a semigroup and $a,b \in S$. Then the following statements are equivalent:

(1) aL^*b (aR^*b);

(2) for all $x,y \in S^1$ $ax = ay(xa = ya)$ if and only if $bx = by(xb = yb)$.

As an easy but useful consequence of Lemma 1.5, we have

Corollary 1.6[1]. Let S be a semigroup and $a, e = e^2 \in S$ .Then the following statements are equivalent:

(1) aL^*e (aR^*e);

(2) $a = ae(a = ea)$ and for all $x,y \in S^1$ $ax = ay(xa = ya)$ implies $bx = by(xb = yb)$.

Evidently, L^* is a right congruence while R^* is a left congruence. In an arbitrary semigroup, we have $L \subseteq L^*$ and $R \subseteq R^*$. But for regular elements a,b, we get $aL^*b(aR^*b)$ if and only if $aLb(aRb)$. Following [6], H^* is defined as the intersection of L^* and R^*, and D^* is defined as the join of L^* and R^*, L^*_a (R^*_a, H^*_a) denotes the L^* class (R^* class, H^* class) containing a. For convenience, we denote by a^+ [a^*, a^0] a typical idempotent R^* related [L^* related, H^* related] to a. And $E(T)$ denotes the set of idempotents of T, $\overline{E(T)}$ is the subsemigroup of T generated by $E(T)$.

A semigroup S is called abundant if and only if each L^* class and each R^* class contains at least one idempotent. An abundant semigroup S is called super-abundant if and only if each H^* class contains an idempotent. Let S be a super-abundant semigroup. Then, as is easily seen, $D^* = L^*R^* = R^*L^*$ (see,[6]). An abundant semigroup S is called satisfying regularity condition if $\overline{E(S)}$ is the regular subsemigroup of S. An abundant semigroup in which the idempotents commute is adequate. It is clear that adequate semigroups satisfy regularity condition .

Next, we recall from [1] that a semigroup homomorphism $\phi: S \to T$ is a good homomorphism, if for all elements a,b of S, aL^*b implies $a\phi L^* b\phi$ and aR^*b implies $a\phi R^* b\phi$. We say that a congruence ρ on a semigroup S is a good congruence if the natural homomorphism from S onto S/ρ is good. For more details of good congruences, the reader is referred to [13]and [14].

2. Definition and Characterizations. The aim of this section is to introduce fuzzy-* congruences on abundant semigroups, and to give some properties of fuzzy-* congruences on such semigroups.

Definition 2.1. A fuzzy right congruence μ on an abundant semigroup S is called a fuzzy-* right congruence on S if for any $t \in [0,1]$, $a \in S$, $x,y \in S^1$, such that $\mu(ax,ay) \geq t \Rightarrow$ $\mu(a^*x, a^*y) \geq t$; Dually, we can define a fuzzy-* left congruence. A fuzzy congruence μ on an abundant semigroup S is called a fuzzy-* congruence of S if it is both a fuzzy-* left and a fuzzy-* right congruence of S.

Proposition 2.2. Let S be an abundant semigroup. Then the following statements are true:

(1) C_{L^*} is a fuzzy-* right congruence of S and C_{R^*} is a fuzzy-* left congruence of S;

(2) If S is a super-abundant semigroup, then $C_{L^*} \circ C_{R^*} = C_{R^*} \circ C_{L^*}$.

Proof. (1). Obviously, C_{L^*} is a fuzzy right congruence of S. Let $t \in [0,1]$, $a \in S$, $x,y \in S^1$, and $C_{L^*}(ax,ay) \geq t$. If $t = 0$, then $C_{L^*}(ax,ay) = 0$. If $t > 0$, then $C_{L^*}(ax,ay) = 1$, that is, $(ax,ay) \in L^*$. Again, since L^* is a right congruence, we have $a^*xL^*axL^*ayL^*a^*y$, that is, $(a^*x, a^*y) \in L^*$, which implies that $C_{L^*}(a^*x, a^*y) = 1$.

Thus $C_{L^*}(a^*x, a^*y) \geq t$, so that C_{L^*} is a fuzzy-* right congruence of S. Similarly, we can prove that C_{R^*} is a fuzzy-* left congruence of S.

(2) Let $a, b \in S$. If $(a,b) \in L^*$ or $(a,b) \in R^*$, then $C_{L^*} \circ C_{R^*}(a,b) = C_{R^*} \circ C_{L^*}(a,b) = 1$.

It suffices to verify that $C_{L^*} \circ C_{R^*}(a,b) = C_{R^*} \circ C_{L^*}(a,b)$ for $(a,b) \notin L^*$ and $(a,b) \notin R^*$. Notice that

$$C_{L^*} \circ C_{R^*}(a,b) = \vee_{x \in S \setminus \{a,b\}} \{C_{L^*}(a,x) \wedge C_{R^*}(x,b)\}.$$

If $(a,x) \notin L^*$ or $(x,b) \notin R^*$ for any $x \in S \setminus \{a,b\}$, then $C_{L^*} \circ C_{R^*}(a,b) = 0$, and $(a,b) \notin D^*$. Hence, $(a,z) \notin R^*$ or $(z,b) \notin L^*$ for any $z \in S \setminus \{a,b\}$. That is, $C_{R^*} \circ C_{L^*}(a,b) = 0$. On the other hand, if there is an element x of $S \setminus \{a,b\}$ such that $(a,x) \in L^*$ and $(x,b) \in R^*$, then $C_{L^*} \circ C_{R^*}(a,b) = 1$, and $(a,b) \in D^*$. Hence, $(a,z) \in R^*$, $(z,b) \in L^*$, for some $z \in S \setminus \{a,b\}$. That is, $C_{R^*} \circ C_{L^*}(a,b) = 1$. It follows that $C_{L^*} \circ C_{R^*}(a,b) = C_{R^*} \circ C_{L^*}(a,b)$ and so (2) holds.

Proposition 2.3. Let ρ be a congruence on an abundant semigroup S. Then ρ is a good congruence on S if and only if C_ρ is a fuzzy-* congruence on S.

Proof. Necessity. Let ρ be a good congruence on S. Then, as is easily seen, C_ρ is a fuzzy congruence on S. We prove now that C_ρ is fuzzy -* congruence. Suppose that $C_\rho(ax, ay) \geq t$, where $t \in [0,1]$, $a \in S$, $x, y \in S^1$. If $t = 0$, then $C_\rho(a^*x, a^*y) \geq 0$. If $t > 0$, then $C_\rho(ax, ay) = 1$, that is, $(ax, ay) \in \rho$. As ρ is good, it follows that $(a^*x, a^*y) \in \rho$. That is, $C_\rho(a^*x, a^*y) = 1 \geq t$. Hence, $C_\rho(ax, ay) \geq t \Rightarrow C_\rho(a^*x, a^*y) \geq t$.

Simlarly, $C_\rho(xa, ya) \geq t \Rightarrow C_\rho(xa^+, ya^+) \geq t$. Therefore, C_ρ is a fuzzy-* congruence on S.

Sufficiency. Let C_ρ be a fuzzy-* congruence on S. Then ρ is a congruence on S. Next, we prove that ρ preserves the relations L^* and R^*. To see this, suppose that $a\rho x\rho = a\rho y\rho$, for $a \in S$, $x, y \in S^1$, that is, $(ax, ay) \in \rho$. Hence, $C_\rho(ax, ay) = 1 \geq 1$. Again, since C_ρ is a fuzzy-* congruence on S, we have $C_\rho(a^*x, a^*y) \geq 1$. That is, $C_\rho(a^*x, a^*y) = 1$, which implies that $(a^*x, a^*y) \in \rho$. That is, $a^*\rho x\rho = a^*\rho y\rho$. This, together with the fact that $a\rho = a\rho a^*\rho$, implies that $a\rho\ L^*(S/\rho)\ a^*\rho$. Similarly, $a\rho\ R^*(S/\rho)\ a^+\rho$. This completes the proof.

Theorem 2.4. Let μ be a fuzzy congruence on an abundant semigroup S and let $\mu^t = \{(a,b) \in S \times S \mid \mu(a,b) \geq t\}$, where $t \in [0,1]$. Then μ^t is a good congruence on S if and only if μ is a fuzzy-* congruence on S.

Proof. Necessity. Let $\mu(ax, ay) \geq t$, where $t \in [0,1]$, $a \in S$, $x, y \in S^1$. Then $(ax, ay) \in \mu^t$. If μ^t is a good congruence on S, then $(a^*x, a^*y) \in \mu^t$, that is, $\mu(a^*x, a^*y) \geq t$. Similarly, $\mu(xa, ya) \geq t \Rightarrow \mu(xa^+, ya^+) \geq t$. Therefore, μ is a fuzzy-* congruence on S.

Sufficiency. Let μ is a fuzzy-* congruence on S. Then μ^t is a congruence on S. Next, we prove that μ^t is good. Let $a \in S$, $x, y \in S^1$, and $a\mu^t x\mu^t = a\mu^t y\mu^t$, that is, $(ax, ay) \in \mu^t$. Then $\mu(ax, ay) \geq t$. Since μ is a fuzzy-* congruence, we have $\mu(a^*x, a^*y) \geq t$, which implies that $(a^*x, a^*y) \in \mu^t$. That is, $a^*\mu^t x\mu^t = a^*\mu^t y\mu^t$. This, together with the fact that $a\mu^t = a\mu^t a^*\mu^t$, implies that $a\mu^t\ L^*(S/\mu^t)\ a^*\mu^t$. Similarly, $a\mu^t\ R^*(S/\mu^t)\ a^+\mu^t$. The proof is completed.

Proposition 2.5. Let μ be a fuzzy-* congruence on an abundant semigroup S, and for all $a \in S$, such that $a^*a^+ = a^+a^*$. Then the following statements are equivalent:

(1) $(\forall a \in S)\mu_a \in E(S/\mu)$;

(2) $(\exists e \in E(S))\mu_a = \mu_e$.

Proof. (1) implies (2). Let $a \in S$, $\mu_a \in E(S/\mu)$. Then $\mu_a = \mu_a * \mu_a = \mu_{a^2}$. By Lemma 1.4, $\mu(a, a^2) = 1 \geq 1$. Since μ is a fuzzy-* congruence on S, we have $\mu(a^*, a^*a) \geq 1$, that is, $\mu(a^*, a^*a) = 1$. Hence, by Lemma 1.4, $\mu_{a^*} = \mu_{a^*a}$. Dually, $\mu_{a^+} = \mu_{aa^+}$. Thus, $\mu_a = \mu_{a^2} = \mu_{aa^*a^+a} = \mu_{aa^+a^*a} =$ $= \mu_{aa^+} * \mu_{a^*a} = \mu_{a^+} * \mu_{a^*} = \mu_{a^+a^*}$, where $a^+a^* \in E(S)$.

(2) implies (1). This is obvious.

Corollary 2.6. Let μ be a fuzzy-* congruence on an abundant semigroup S. Then the following statements are true:

(1) If S is a super-abundant semigroup, then S/μ is super-abundant with respect to the binary operation "*";

(2) If S is an adequate semigroup, then S/μ is adequate with respect to the binary operation "*".

Proof. (1). Let μ be a fuzzy-* congruence on an abundant semigroup S, and let $t \in [0,1]$, $a \in S$, $x, y \in S^1$. Then, by Defintion 2.1, $\mu(ax, ay) \geq t \Rightarrow \mu(a^* x, a^* y) \geq t$ and $\mu(xa, ya) \geq t \Rightarrow \mu(xa^+, ya^+) \geq t$. Notice that S is a super-abundant semigroup, we can choose $t = 1$, and so $\mu_a L^*(S/\mu)\mu_{a^0}$, $\mu_a R^*(S/\mu)\mu_{a^0}$. Thus, $\mu_a H^*(S/\mu)\mu_{a^0}$. This means that S/μ is super-abundant with respect to the binary operation "*".

(2) Let μ be a fuzzy-* congruence on an adequate semigroup S. Then, by Proposition 2.5, as is easily seen, $E(S/\mu)$ is a semilattice. Therefore, S/μ is adequate with respect to the binary operation "*".

3. Some special cases

Proposition 3.1. Let μ be a fuzzy-* congruence on an abundant semigroup S. Then μ is a fuzzy-* congruence on $\overline{E(S)}$.

Proof. Let μ be a fuzzy-* congruence on S. Then, as is easily seen, μ is a fuzzy congruence on $\overline{E(S)}$. Next , we prove that μ is a fuzzy -*congruence on $\overline{E(S)}$. Let $a \in \overline{E(S)} \subseteq S$, $x, y \in \overline{E(S)}^1 \subseteq S^1$, such that $\mu(ax, ay) \geq t$, where $t \in [0,1]$. Then $\mu(a^* x, a^* y) \geq t$. Dually, $\mu(xa, ya) \geq t \Rightarrow \mu(xa^+, ya^+) \geq t$, for $a \in \overline{E(S)}, x, y \in \overline{E(S)}^1$. The proof is completed.

Theorem 3.2. Let μ be a fuzzy-* congruence on an abundant semigroup S and for all $a \in S$, $a^* a^+ = a^+ a^*$. Then $\overline{E(S/\mu)} = \overline{E(S)}/\mu$.

Proof. Let $\mu_a \in \overline{E(S/\mu)}$. Then there are $\mu_{a_1}, \mu_{a_2}, \cdots, \mu_{a_n} \in E(S/\mu)$, such that $\mu_a = \mu_{a_1} * \mu_{a_2} * \cdots * \mu_{a_n}$, where $n \in N^+$. Hence, by Proposition 2.5, we have $\mu_{a_i} = \mu_{e_i}$, where $i = 1, 2, \cdots, n$, $e_i \in E(S)$, and thus $\mu_a = \mu_{e_1} * \mu_{e_2} * \cdots * \mu_{e_n} = \mu_{e_1 e_2 \cdots e_n} \in \overline{E(S)}/\mu$. Conversely, if $\mu_a \in \overline{E(S)}/\mu$, then $\mu_a = \mu_{e_1 e_2 \cdots e_n}$, where $e_i \in E(S)$, $i = 1, 2, \cdots, n$, and thus, $\mu_a = \mu_{e_1 e_2 \cdots e_n} = \mu_{e_1} * \mu_{e_2} * \cdots * \mu_{e_n} \in \overline{E(S/\mu)}$. Therefore, $\overline{E(S/\mu)} = \overline{E(S)}/\mu$.

Theorem 3.3. Let μ be a fuzzy-* congruence on the satisfying regularity condition semigroups S and for all $a \in S$, $a^* a^+ = a^+ a^*$. Then S/μ satisfies regularity condition with respect to the binary operation "*".

Proof. Let $\mu_a \in \overline{E(S/\mu)}$. Then there exist $\mu_{a_1}, \mu_{a_2}, \cdots, \mu_{a_n} \in E(S/\mu)$, such that $\mu_a = \mu_{a_1} * \mu_{a_2} * \cdots * \mu_{a_n}$, where $n \in N^+$. By Proposition 2.5, we have $\mu_{a_i} = \mu_{e_i}$, and thus $\mu_a = \mu_{e_1} * \mu_{e_2} * \cdots * \mu_{e_n} = \mu_{e_1 e_2 \cdots e_n}$, where $e_i \in E(S)$, $i = 1, 2, \cdots, n$. Again, since S satisfies regularity condition, we get that $e_1 e_2 \cdots e_n$ is regular. Hence, there exists $x \in \overline{E(S)}$, such that $e_1 e_2 \cdots e_n = (e_1 e_2 \cdots e_n) x (e_1 e_2 \cdots e_n)$, and thus $\mu_a = \mu_{e_1 e_2 \cdots e_n} = \mu_{(e_1 e_2 \cdots e_n) x (e_1 e_2 \cdots e_n)} = \mu_a * \mu_x * \mu_a$.

On the other hand, by Theorem 3.2, we have $\mu_x \in \overline{E(S)}/\mu = \overline{E(S/\mu)}$, and so $\overline{E(S/\mu)}$ is a regular subsemigroup of S/μ.

Corollary 3.4. Let μ be a fuzzy-* congruence on an abundant semigroup S, and for all $a \in S$, $a^* a^+ = a^+ a^*$. Then there is a homomorphism from $\overline{E(S)}$ to $\overline{E(S/\mu)}$.

Proof. Let μ be a fuzzy-* congruence on S. Then, by Theorem 3.1, μ is a fuzzy-* congruence on $\overline{E(S)}$. We define a mapping $\mu^{\#} : \overline{E(S)} \to \overline{E(S)}/\mu$ as follows : $\mu^{\#}(a) = \mu_a$, for all $a \in \overline{E(S)}$. It is clear that $\mu^{\#}$ is a homomorphism. By Theorem 3.2, $\mu^{\#}$ is a homomorphism from $\overline{E(S)}$ to $\overline{E(S/\mu)}$. The proof is completed.

REFERENCES

1. EL-Qallali A., Fountain J. B. Idempotent-connected abundant semigroups // Proc. Roy. Soc. Edinburgh, 1981. V. 91. P. 79–90.
2. Chunhua LI, Xiaojiang GUO, Er-gen LIU. Good Congruences on Perfect Rectangular Bands of Adequate Semigroups // Advances in Mathematics (In Press).
3. Chunhua LI. Fuzzy good congruences on adequate semigroups // Journal of Nanchang University. 2007. V. 31(1) : Natural Science. P. 35–37.
4. Chunhua LI. Fuzzy good congruences on Type-A semigroups // Journal of Shandong University. 2008. V. 43(2) : Natural Science. P. 40–43.

5. Chunhua LI, Baogen XU. Fuzzy good congruences on abundant semigroups // Fuzzy Systems and Mathematics. 2008. V. 22(4). P. 74–78.
6. Fountain J. B. Abundant semigroups // Proc. London Math. Soc. 1982. V. 44 P. 103–129.
7. Mordeson J. N., Malik D. S., Kuroki N. Fuzzy semigroups. Springer-verlag Berlin Heidelberg : New York, 2003.
8. Samhan M. Fuzzy Congruences on semigroups // Inform. Sci. V. 74(1993). P. 165–175.
9. Petrich M. Completely regular semigroups. New York : Jhon Wiley and Sons Inc, 1999.
10. Murali V. Fuzzy equivalence relations // Fuzzy Sets and Systems. V. 30(1989). P. 155–163.
11. Nemitz W. C. Fuzzy relations and fuzzy functions // Fuzzy Sets and Systems. V. 19(1986). P. 177–191.
12. Xiaojiang GUO, Xiangyun XIE. A note on left type-A semigroups // Semigroup Forum, 1999. V.58P. 313–316.
13. Xiaojiang GUO. Idempotent-separating good congruence on an IC quasi-adequate semigroup. // Pure Math. V. 16(1999). P. 57–65.
14. Yanfeng LUO, Xiaojiang GUO. Good congruences on a typeσsemigroup // Communications in Algebra, 1999. V. 27(12). P. 6199–6211.
15. Yijia TAN. Fuzzy congruences on a regular semigroup // Fuzzy Sets and Systems, 2001 V. 117. P. 447–453.

Baogen Xu УДК 519.1

ON REVERSE SIGNED DOMINATION NUMBERS OF GRAPHS

1. Introduction

We use Bondy and Murty [1] for terminology and notation not defined here and consider simple graphs only.

Let G=(V,E) be a graph, if $v \in V(G)$, then N_G (v) denotes the open neighbourhood of v in G, and N_G [v] $= N_G$(v) $\cup\{v\}$ for the close neighbourhood, $d_G(v) = |N_G(v)|$ is the degree of v in G. For simplicity, sometimes, N_G(v), N_G[v] and $d_G(v)$ are denoted by N(v), N[v]and $d(v)$, respectively. If $S \subseteq V(G)$, then G[S] denotes the subgraph of G induced by S. $\delta(G)$ and $\Delta(G)$ denote the minimum and maximum degree of G, respectively. $\overline{G}$ will denote the complement of G.

In recent years, some kinds of domination in graphs have been investigated [2~5]. T.W. Haynes, etc.[3] survey the major research accomplishments on domination theory.

Definition 1.1.[5] Let G = (V, E) be a graph, a signed dominating function (SDF) of G is a function $f: V(G) \to \{-1,+1\}$ satisfying $\sum_{v \in N[u]} f(v) \geq 1$ for all vertices $u \in V(G)$, and the signed domination number of G is defined as $\gamma_s(G) = \min\{\sum_{v \in V(G)} f(v) \mid f$ is an SDF of G$\}$.

In this paper, we initiate the study of a new graph parameter.

Definition 1.2. Let G = (V, E) be a graph, a function $f: V \to \{-1,+1\}$ is called a *reverse signed dominating function* (RSDF) of G if $\sum_{v \in N[u]} f(v) \leq 0$ holds for every vertex $u \in V$. The reverse signed domination number of G is defined as

$$\gamma_{rs}(G) = \max\{\sum_{v \in V(G)} f(v) \mid f \text{ is a RSDF of G}\}.$$

By the above definition, we have the following lemma.

Lemma 1.3. Let G be a graph of order n, then

(1) $\gamma_{rs}(G) = -n$ if and only if $G = \overline{K_n}$;

(2) For any two disjoint graphs G_1 and G_2, $\gamma_{rs}(G_1 \cup G_2) = \gamma_{rs}(G_1) + \gamma_{rs}(G_2)$;

(3) $\gamma_{rs}(G) \equiv n (\mathrm{mod}\, 2)$.

Let G be a graph, if f be a RSDF of a graph G, and $S \subseteq V(G)$, for convenience, we write $f(S) = \sum_{v \in S} f(v)$.

In [5] we determined the smallest signed domination number for a graph G of order n.

Lemma 1.4. [5] For any graph G of order $n \geq 1$, then

$$\gamma_s(G) \geq 2\left\lceil \frac{-1+\sqrt{1+8n}}{2} \right\rceil - n .$$

And this bound is sharp.

In this paper we obtain some upper bounds of $\gamma_{rs}(G)$ for general graphs, and determine the exact values of $\gamma_{rs}(G)$ for some special classes of graphs G, such as the complete graphs K_n, paths P_n, cycles C_n and complete bipartite graphs $K_{m,n}$ etc.. In addition, we pose some open problems and conjectures.

2. Some bounds of reverse signed domination number

In this section, we give some upper bounds of $\gamma_{rs}(G)$ for general graphs G.

Theorem 2.1. For any graph G of order $n \geq 1$, then

$$\gamma_{rs}(G) \leq n - 2\left\lceil \frac{-1+\sqrt{1+4n}}{2} \right\rceil .$$

And this bound is sharp.

Proof: Let f be such a RSDF of G that $f(V(G)) = \gamma_{rs}(G)$. Define

$$A = \{v \in V(G) | f(v) = 1\},$$

$$B = \{v \in V(G) | f(v) = -1\},\ |A| = s \text{ and } |B| = t .$$

Obviously, $s + t = n$ and $\gamma_{rs}(G) = s - t = n - 2t$.

Case 1. $\delta(G) \geq 1$. For each vertex $u \in A$, since $f(N[u]) \leq 0$, then u is joined to at least one vertex of B, which implies $|\{uv \in E(G) | u \in A, v \in B\}| \geq s$. Thus, there exists a vertex $v \in B$ so that $|N(v) \cap A| \geq \left\lceil \frac{s}{t} \right\rceil$, by Definition 1.2□v is joined to at least $\left\lceil \frac{s}{t} \right\rceil - 1$ vertices of B, $t = |B| \geq \left\lceil \frac{s}{t} \right\rceil = \left\lceil \frac{n-t}{t} \right\rceil \geq \frac{n-t}{t}$, that is, $t^2 + t - n \geq 0$, it implies $t \geq \frac{-1+\sqrt{1+4n}}{2}$, note that t is an integer, so $t \geq \left\lceil \frac{-1+\sqrt{1+4n}}{2} \right\rceil$, note that $\gamma_{rs}(G) = n - 2t$, we have

$$\gamma_{rs}(G) \leq n - 2\left\lceil \frac{-1+\sqrt{1+4n}}{2} \right\rceil . \qquad (2.1)$$

Case 2. $\delta(G) = 0$. Since when $G = \overline{K_n}$, by Lemma 1.4(1), we have $\gamma_{rs}(G) = -n$, it implies that (2.1) holds for all integers $n \geq 1$.

Thus, we may suppose that $G = \overline{K_q} \cup H$, where $\delta(H) \geq 1$ and $|V(H)| = n - q \geq 2$. We know from Case 1 that $\gamma_{rs}(H) \leq (n-q) - 2\left\lceil \frac{-1+\sqrt{1+4(n-q)}}{2} \right\rceil$. By Lemma 1.3, we have $\gamma_{rs}(G) = \gamma_{rs}(\overline{K_q}) + \gamma_{rs}(H) \leq$ $\leq -q + (n-q) - 2\left\lceil \frac{-1+\sqrt{1+4(n-q)}}{2} \right\rceil$. It implies that (2.1) holds.

Combining Case 1 and 2, we have shown that (2.1) holds for all graphs G of $n \geq 1$.

Next we construct a graph G such that the following equality holds:

$$\gamma_{rs}(G) = n - 2\left\lceil \frac{-1+\sqrt{1+4n}}{2} \right\rceil \qquad (2.2)$$

When $n = 1$, let $G = K_1$, note that $\gamma_{rs}(K_1) = -1$, clearly, (2.2) holds.

Next we may suppose that $n \geq 2$.

Let $t = \left\lceil \frac{-1+\sqrt{1+4n}}{2} \right\rceil$ and $s = n - t$. Note that $n \geq 2$, and hence, $t \geq 1$. Since $t^2 + t - n \geq 0$, that is, $t^2 \geq n - t = s$, thus, we construct a graph G as follows:

Let G be the graph obtained from K_t by adding exactly s pendant-edges such that each vertex of K_t adds at most t pendant-edges. Clearly, $|V(G)| = s + t = n$. We define a function $f: V(G) \to \{-1, +1\}$ as follows:

$$f(v) = \begin{cases} -1 & when \quad v \in V(K_t); \\ +1 & when \quad v \notin V(K_t). \end{cases}$$

It is easy to see that f is a RSDF of G. Thus, $\gamma_{rs}(G) \geq f((V(G)) = n - 2t$, combining with (2.1), we have $\gamma_{rs}(G) = n - 2t$. This proof is complete. #

Theorem 2.2. Let G be a graph with $|V(G)| = n$ and $|E(G)| = m$, then

$$\gamma_{rs}(G) \le \frac{2m-n}{2}.$$

And this bound is the best possible.

Proof. Let f be such a RSDF of G that $f(V(G)) = \gamma_{rs}(G)$. Define $A = \{v \in V(G) | f(v) = 1\}$, $B = \{v \in V(G) | f(v) = -1\}$, $|A| = s$ and $|B| = t$,obviously, $s + t = n$ and $\gamma_{rs}(G) = n - 2t$ .And let $E(A,B) = \{uv \in E(G) | u \in A, v \in B\}$.

As each vertex in A must be joined to at least one vertex in B, it implies

$$|E(A,B)| \ge s = n - t. \qquad (2.3)$$

For each vertex $v \in B$, $|N(v) \cap B| + 1 \ge |N(v) \cap A|$, so we have

$$s \le |E(A,B)| = \sum_{v \in B} |N(v) \cap A| \le$$
$$\le \sum_{v \in B} (|N(v) \cap B| + 1) = 2|E(G[B])| + t,$$

thus we have

$$|E(G[B])| \ge \frac{s-t}{2} = \frac{n-2t}{2}.$$

Combining with (2.3), we have $m \ge |E(A,B)| + |E(G[B])| \ge \frac{3n-4t}{2}$, that is, $t \ge \frac{3n-2m}{4}$. Thus, we have

$$\gamma_{rs}(G) = n - 2t \le \frac{2m-n}{2}. \qquad (2.4)$$

Next we construct a class of graphs G so that the equality in Theorem 2.2 holds.

Let G_r be the graph obtained from K_r by adding exactly r pendant-edges at each vertex of K_r $(r = 1,2,3,\cdots\cdots)$ .Obviously, $n = |V(G_r)| = r^2 + r$, $m = |E(G_r)| = \binom{r}{2} + r^2 = \frac{3r^2 - r}{2}$ .We define a function f as follows:

$$f(v) = \begin{cases} -1 & when \quad v \in V(K_r); \\ +1 & when \quad v \notin V(K_r); \end{cases}$$

It is easy to see that f is a RSDF of G_r. Thus, $\gamma_{rs}(G_r) \ge f((V(G_r)) = r^2 - r = \frac{2m-n}{2}$.

Combining with (2.4), we have. $\gamma_{rs}(G_r) = \frac{2m-n}{2}$. This proof is complete. #

Corollary 2.3. For any tree T of order n, then $\gamma_{rs}(T) \le \frac{n-2}{2}$, and this bound is the best possible.

Proof. By Theorem 2.2, we have $\gamma_{rs}(T) \le \frac{n-2}{2}$. Next we construct a class of trees T so that this equality holds. Let $H = K_{1,t}$ be a star of order $t+1$. Let T be the tree obtained from H by adding exactly $d_H(v) + 1$ pendant-edges at each vertex v of H. Thus we have

$$n = |V(T)| = (t+1) + \sum_{v \in V(H)} (d_H(v) + 1) =$$
$$= t + 1 + 2|E(H)| + |V(H)| = 4t + 2.$$

Define a function f as follows:

$$f(v) = \begin{cases} -1 & when \quad v \in V(H); \\ +1 & when \quad v \notin V(H); \end{cases}$$

It is easy to check that f is a RSDF of T. Thus, $\gamma_{rs}(T) \ge f((V(T)) = n - 2(t+1) = \frac{n-2}{2}$. This proof is complete. #

Theorem 2.4. For any graph G of order n $(n \ge 2)$, then

$$\gamma_{rs}(G) \le \frac{\Delta - \delta}{\Delta + \delta + 2} n.$$

Where Δ and δ denote the maximum and minimum degree of G, respectively.

Proof. Let f be such a RSDF of G that $f(V(G)) = \gamma_{rs}(G)$. Define $A = \{v \in V(G) | f(v) = 1\}$, $B = \{v \in V(G) | f(v) = -1\}$, $|A| = s$ and $|B| = t$,obviously, $s + t = n$ and $\gamma_{rs}(G) = s - t$ .So, we have

$$s = \frac{n + \gamma_{rs}(G)}{2} \text{ and } t = \frac{n - \gamma_{rs}(G)}{2} \qquad (2.5)$$

We know from Definition 1.2 that $f(N[u]) \le 0$ holds for every vertex $u \in V(G)$, thus $\sum_{u \in V(G)} f(N[u]) \le 0$, that is, $\sum_{u \in V(G)} (d(u) + 1) f(u) \le 0$ .Note that $\sum_{u \in V(G)} f(u) = \gamma_{rs}(G)$, thus $\sum_{u \in A} d(u) f(u) + \sum_{u \in B} d(u) f(u) \le -\gamma_{rs}(G)$, it implies $\delta|A| - \Delta|B| \le -\gamma_{rs}(G)$ .By (2.5) we have $\delta(n + \gamma_{rs}(G)) - \Delta(n - \gamma_{rs}(G)) \le -2\gamma_{rs}(G)$, and hence $\gamma_{rs}(G) \le \frac{\Delta - \delta}{\Delta + \delta + 2} n$ .We have completed the proof of Theorem 2.4. #

The following statements are immediate from Theorem 2.4.

Corollary 2.5. For any regular graph G, then $\gamma_{rs}(G) \le 0$.

A graph G is said to be an *Euler graph* if $d_G(v) \equiv 0 (\bmod 2)$ for each vertex $v \in V(G)$. Perhaps, one has found the equality $\gamma_{rs}(\overline{K_n}) + \gamma_s(\overline{K_n}) = 0$. In fact, we have the following

Theorem 2.6. For any graph G, then $\gamma_{rs}(G) + \gamma_s(G) \ge 0$, and the equality holds for all Euler graphs G.

Proof. Let f be an SDF of G so that $f(V(G)) = \gamma_s(G)$. Define $g = -f$, since $f(N[u]) \ge 1$ holds for each vertex $u \in V(G)$, then $g(N[u]) \le -1 < 0$, and hence, g is a RSDF of G, $\gamma_{rs}(G) \ge g(V(G)) = -f(V(G)) = -\gamma_s(G)$. That is $\gamma_{rs}(G) + \gamma_s(G) \ge 0$.

When G is an Euler graph, since $f(N[u]) \ne 0$ for each vertex $u \in V(G)$, thus, f is an SDF of G if and only if $g = -f$ is a RSDF of G. We see from Definition 1.1~1.2 that $f(V(G)) = \gamma_s(G)$ if and only if $g(V(G)) = \gamma_{rs}(G)$, which implies that $\gamma_{rs}(G) + \gamma_s(G) = 0$.

We have completed the proof of Theorem 2.6. #

3. The Special graphs

In this section, we give the exact values of $\gamma_{rs}(G)$ for some special graphs, such as the complete graphs K_n, paths P_n, cycles C_n and complete bipartite graphs $K_{m,n}$ etc.. It is easy to check that $\gamma_{rs}(K_n) = \frac{(-1)^n - 1}{2}$ holds for all integers $n \ge 1$.

Theorem 3.1. If $n \ge 2$ is an integer, then $\gamma_{rs}(P_n) = 2\left\lceil \frac{n}{3} \right\rceil - n$

Proof. Let $V(P_n) = \{v_1, v_2, \cdots\cdots, v_n\}$ and $E(P_n) = \{v_i v_{i+1} | 1 \le i \le n-1\}$. We define a function $f : V(P_n) \to \{-1, +1\}$ as follows:

$$f(v_i) = \begin{cases} 1 & when \quad i \equiv 1 (\bmod 3) \\ -1 & Otherwise; \end{cases}$$

It is easy to check that f is a RSDF of P_n. So, we have

$$\gamma_{rs}(P_n) \ge f(V(P_n) = \left\lceil \frac{n}{3} \right\rceil - (n - \left\lceil \frac{n}{3} \right\rceil) = 2\left\lceil \frac{n}{3} \right\rceil - n \qquad (3.1)$$

On the other hand, let f be such a RSDF of G that $f(V(P_n)) = \gamma_{rs}(P_n)$. Define $M = \{u \in V(P_n) | f(u) = +1\}$, $N = \{u \in V(P_n) | f(u) = -1\}$.

We prove that $|M| \le \left\lceil \frac{n}{3} \right\rceil$. Assume, to the contrary, that $|M| \ge \left\lceil \frac{n}{3} \right\rceil + 1$, then, there exist two vertices $u, v \in M$ such that $1 \le dist(u,v) \le 2$. Thus, there exists vertex $w \in V(P_n)$ such that $\{u, v\} \subseteq N[w]$, it implies $f(N[w]) \ge 1$. This contradicts that f be such a RSDF of P_n. Thus, we have $\gamma_{rs}(P_n) = f(V(P_n)) = |M| - |N| = 2|M| - n \le 2\left\lceil \frac{n}{3} \right\rceil - n$.

Combining with (3.1), we have completed the proof of Theorem 3.1. #

Similar to the proof of Theorem 3.1, we can obtain easily the following corollary.

Corollary 3.2. If $n \ge 3$, then $\gamma_{rs}(C_n) = 2\left\lceil \frac{n-2}{3} \right\rceil - n$.

Theorem 3.3. If $m \ge 3$ and $n \ge 3$ are two integers, then $\gamma_{rs}(K_{m,n}) = \frac{(-1)^{m+1} + (-1)^{n+1} - 6}{2}$.

Proof. let f be such a RSDF of G that $f(V(K_{m,n})) = \gamma_{rs}(K_{m,n})$. Write $V(K_{m,n}) = V_1 \cup V_2$, where $|V_1| = m$ and $|V_2| = n$. We define

$V_i^+ = \{u \in V_i | f(u) = +1\}$, $V_i^- = \{u \in V_i | f(u) = -1\}$, $(i = 1, 2)$

Case 1. If $V_1^+ \ne \phi$ and $V_2^+ \ne \varphi$; For any vertex $u \in V_1^+$, by Definition 1.2, we have $f(N[u]) \le 0$, and hence, $|V_2^+| - |V_2^-| \le -1$, note that $|V_2^+| + |V_2^-| = n$, thus we have $|V_2^+| - |V_2^-| \equiv n (\bmod 2)$, which imply $|V_2^+| - |V_2^-| \le \frac{(-1)^{n+1} - 3}{2}$. Analogously,

$$|V_1^+| - |V_1^-| \le \frac{(-1)^{m+1} - 3}{2}.$$

So, we have

$$\gamma_{rs}(K_{m,n}) = |V_1^+| - |V_1^-| + |V_2^+| - |V_2^-| \le \frac{(-1)^{m+1} + (-1)^{n+1} - 6}{2}.$$

Case 2. If $V_1^+ \ne \varphi$ and $V_2^+ = \phi$; For any $u \in V_2^-$, then $f(N[u]) \le 0$, $|V_1^+| - |V_1^-| \le 1$, note that $|V_1^+| + |V_1^-| = m$, and thus $|V_1^+| - |V_1^-| \equiv m (\bmod 2)$, which imply $|V_1^+| - |V_1^-| \le \frac{1 + (-1)^{m+1}}{2}$. Note that $|V_2^+| - |V_2^-| = 0 - n \le \frac{(-1)^{n+1} - 3}{2}$ $(n \ge 3)$, so, we have

$$\gamma_{rs}(K_{m,n}) = |V_1^+| - |V_1^-| - |V_2^-| \le \frac{1+(-1)^{m+1}}{2} - n \le$$
$$\le \frac{(-1)^{m+1}+(-1)^{n+1}-6}{2}.$$

Case 3. If $V_1^+ = \varphi$; and $V_2^+ \ne \phi$; it is similar to Case 2.

Case 4. If $V_1^+ = \varphi$; and $V_2^+ = \phi$; we have

$$\gamma_{rs}(K_{m,n}) = -|V_1^-| - |V_2^-| = -m-n \le \frac{(-1)^{m+1}+(-1)^{n+1}-6}{2}.$$

Sum up the above Case 1~4, we have

$$\gamma_{rs}(K_{m,n}) \le \frac{(-1)^{m+1}+(-1)^{n+1}-6}{2}. \qquad (3.2)$$

On the other hand, we may partition easily $V_1 = A_1 \cup A_2$ and $V_2 = B_1 \cup B_2$ so that $2 \ge |A_1| - |A_2| \ge 1$ and $2 \ge |B_1| - |B_2| \ge 1$. That is, $|A_1| - |A_2| = \frac{3-(-1)^{m+1}}{2}$ and $|B_1| - |B_2| = \frac{3-(-1)^{n+1}}{2}$. Define $f: V(K_{m,n}) \to \{-1,+1\}$ as follows:

$$f(v) = \begin{cases} -1 & when \quad v \in A_1 \cup B_1; \\ +1 & when \quad v \in A_2 \cup B_2; \end{cases}$$

It is easy to see that f is a RSDF of $K_{m,n}$, thus,

$$\gamma_{rs}(K_{m,n}) \ge f(V(K_{m,n}) = |A_2| + |B_2| - |A_1| - |B_1| =$$
$$= \frac{(-1)^{m+1}+(-1)^{n+1}-6}{2}.$$

Combining with (3.2), we have completed the proof of Theorem 3.3. #

4. Some open problems and conjectures

In this section, we pose some open problems and conjectures relating to our main results. By Theorem 2.6, it is natural to pose the following problem.

Problem 4.1. Characterize all graphs with $\gamma_{rs}(G) + \gamma_s(G) = 0$.

It is interesting to consider the relations between $\gamma_{rs}(G)$ and $\gamma_{rs}(\overline{G})$. We pose the following

Conjecture 4.2. For any graph G of order n, then $\gamma_{rs}(G) + \gamma_{rs}(\overline{G}) \ge -(n+1)$.

If true, the lower bound is the best possible. For example, Let $G = K_n$. Obviously, the equality holds when n is odd.

Although some upper bounds of $\gamma_{rs}(G)$ are obtained in this paper, it seems more difficult to give a good lower bound for the reverse signed domination number of G, we have the following

Conjecture 4.3. For any graph G without isolate vertex, if $|V(G)| = n$, then $\gamma_{rs}(G) \ge -\frac{3}{5}n$.

If true, the lower bound is the best possible. For example, Let G be a graph whose every component is C_5. By Lemma 1.3 and Corollary 3.2, we have $\gamma_{rs}(G) = -\frac{3}{5}|V(G)|$.

Conjecture 4.4. For any tree T of order $n \ge 2$, then $\gamma_{rs}(T) \ge -\frac{n}{3}$.

If true, the lower bound is the best possible for all positive integers $n \equiv 0 (\mathrm{mod}\, 3)$. For example, let $s = \frac{n}{3}$ and T_1 be the tree obtained from P_s by adding exactly one pendant-edge at each vertex of P_s. ($|V(T_1)| = 2s$). Let T be the tree obtained from T_1 by adding exactly one pendant-edge at each vertex of degree one in T_1. Clearly, $|V(T)| = 3s = n$. It is easy to see that $\gamma_{rs}(T) = -s$.

REFERENCES

1. Bondy J. A., Murty V.S.R. Graph Theory with Applications. Amsterdam : Elsevier, 1976.
2. Cockayne E. J., Mynhart C. M. On a generalization of signed domination functions of graphs // Ars. Combin. V. 43 (1996). P. 235–245.
3. Haynes T. W., Hedetniemi S. T., Slater P. J. Fundamentals of domination in graphs. New York : Marcel Dekker, 1998.
4. Xu B. On minus domination and signed domination in graphs // J. Math. Res. Exposition. V. 4(2003). P. 586–590.
   A note on the lower bounds of signed domination number of a graph / Zhang Z., Xu B., Li Y., Liu L. // Discrete Math. V. 195(1999). P. 295–298.

Гоппе Г.Г.

УДК 621.33

АЛГОРИТМ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ (АД) ПРИ ИЗМЕНЕНИИ НАГРУЗКИ ВНИЗ ОТ ОПТИМАЛЬНОЙ

Асинхронный электропривод является самым распространённым из всех известных видов электропривода. Он потребляет более 50% от объёма электроэнергии, вырабатываемой электростанциями страны. Поэтому проблема повышения энергетических показателей асинхронного электропривода является весьма актуальной. Электромеханическим преобразователем привода, в котором сосредоточены основные энергетические потери, является асинхронный двигатель. Если бы удалось поднять КПД каждого АД хотя на 1%, то при настоящих объёмах производства электроэнергии в стране это привело бы к экономии 5 млрд. кВт·ч. Выработке такого количества электроэнергии за счёт ввода новых генерирующих мощностей в соответствии с практикой РАО "ЕЭС России" потребовало бы инвестиций порядка 110 млрд. рублей [1]. Мероприятия же по экономии энергии являются гораздо менее затратными.

Цель работы состоит в том, чтобы показать возможности энергосбережения и дать их количественную оценку для нерегулируемого по частоте вращения асинхронного электропривода при значительных отклонениях нагрузки вниз от оптимальной.

Эти возможности заключены в характере КПД АД. Его величина, как и для любой машины, может быть найдена из соотношения:

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \sum \Delta P_i}, \qquad (1)$$

где P_2 – полезная мощность, отдаваемая на вал приводного механизма; $\sum \Delta P_i$ – сумма мощностей потерь; $P_2 + \sum \Delta P_i$ – мощность, поступающая в АД из сети.

В свою очередь потери в АД представлены следующими составляющими:

$$\sum_{i=1}^{5} \Delta P_i = \Delta P_{эл1} + \Delta P_{эл2} + \Delta P_m + \Delta P_{мех} + \Delta P_д, \qquad (2)$$

где $\Delta P_{эл1}$ – электрические потери в обмотке статора; $\Delta P_{эл2}$ – электрические потери в обмотке ротора; ΔP_m – электрические потери в контуре намагничивания (железе статора); $\Delta P_{мех}$ – механические потери; $\Delta P_д$ – условные дополнительные потери.

Если в соответствии с "Т"-образной схемой замещения представить электрические потери в функции соответствующих токов, то (2) преобразуется к виду:

$$\sum_{i=1}^{5} \Delta P_i = 3I_1^2 R_1 + 3I_2'^2 + 3I_0^2 R_m + \Delta P_{мех} + \Delta P_д, \qquad (3)$$

где I_1 – фазный ток обмотки статора; I_2' – фазный ток обмотки ротора, приведённой к статору; I_0 – ток одной фазы контура намагничивания; R_1, R_2', R_m – параметры схемы замещения АД.

При работе на линейной части механической характеристики ток намагничивания I_0 незначительно зависит от нагрузки АД, а угол между векторами токов I_2' и I_0 на векторной диаграмме близок к 90º. С учётом этого (3) можно представить в виде суммы двух групп потерь – постоянных и зависящих от нагрузки, где:

$$\Delta P_{пост} = 3I_0^2(R_1 + R_m) + \Delta P_{мех}, \qquad (4)$$

$$\Delta P_{пер} = 3I_2'^2(R_1 + R_2') + \Delta P_д. \qquad (5)$$

С небольшой погрешностью электрические потери в обмотках статора и ротора можно считать пропорциональными квадрату полезной мощности (P_2). Тогда соотношение (5) можно записать как:

$$\Delta P_{пер} = \left(\frac{P_2}{P_{2н}}\right)^2 \Delta P_{перн} + \left(\frac{P_2}{P_{2н}}\right) \Delta P_{дн}, \qquad (6)$$

где $P_{2н}$ – номинальная мощность.

С учётом (4) и (6) выражение для КПД преобразуется к виду:

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P_{пост} + \left(\frac{P_2}{P_{2н}}\right)^2 \Delta P_{перн} + \left(\frac{P_2}{P_{2н}}\right)\Delta P_{дн}}. \quad (7)$$

Как следует из (7), КПД при изменении нагрузки АД имеет экстремум. При холостом ходе КПД равен нулю, так как полезная мощность отсутствует, при увеличении нагрузки КПД возрастает за счёт увеличения полезной мощности, но одновременно, быстрее чем P_2, возрастают переменные потери – $\Delta P_{пер}$. Поэтому при некотором $P_2=P_{2экстрем}$ рост КПД прекращается и с дальнейшим увеличением P_2 он начинает уменьшаться. Исследование (7) на экстремум показывает, что величина КПД имеет максимум при $P_{пер}=P_{пост}$.

При проектировании электрических машин обычно стремятся так распределить потери, чтобы это равенство наступило при нагрузке АД несколько меньшей номинальной (0,8-0,95)$P_{2н}$. Однако зачастую в группу постоянных потерь включаются только те, которые образуются в контуре намагничивания, а механические и дополнительные потери мощности относят на вал машины. Тогда равенство переменных и постоянных потерь должно наступить при меньших нагрузках АД – (0,5-0,85)$P_{2н}$. В этом случае постоянные потери представляются в виде $\Delta P_{пост}=I_0^2(R_1+R_m)$, и поскольку ток пропорционален первой степени напряжения, то потери $\Delta P_{пост}$ пропорциональны квадрату питающего напряжения. При снижении нагрузки вниз от экстремальной в широком диапазоне и на длительное время уменьшение КПД вызвано тем, что ток намагничивания остаётся практически постоянным. Если в этих условиях снизить величину питающего напряжения, сохраняя неизменной скорость двигателя и обеспечивая необходимый момент, то можно уменьшить ток намагничивания и тем самым снизить постоянные потери. На практике для этого иногда используется переключение обмоток статора с треугольника на звезду. Но такое управление током реализуется в одну ступень.

На средствах же силовой электроники эта задача решается в непрерывном режиме управления напряжением. Теория оптимизации потерь в АД при снижении нагрузки вниз от экстремальной разработана отечественными и иностранными учёными [2, 3, 4, 5, 6, 7]. В частности, сравнительный анализ различных способов оптимизации режимов работы АД – по минимуму суммарных энергетических потерь, по минимуму тока, потребляемого из сети, по минимальной мощности, выполнен в [2], где показано, что наиболее эффективным является первый способ. Но он доказан для схемы замещения, где контур намагничивания представлен параллельно включенными активным и индуктивным сопротивлениями, и к тому же здесь не приводятся данные по величинам КПД АД при снижении нагрузки вниз от номинальной. Поэтому доказательство возможности управления АД с минимизацией энергетических потерь с использованием традиционной "Т"-образной схемы замещения и оценка величины КПД в этом режиме являются достаточно актуальными.

Для этого преобразуем соотношение (3) для суммарных энергетических потерь следующим образом. Примем во внимание, что электрические потери в обмотке ротора представлены как [3]:

$$3I_2'^2R_2'=M\cdot\omega_0\cdot s,$$

где M – электромагнитный момент АД;

ω_0 – скорость идеального холостого хода;

s – скольжение ротора.

Тогда для тока ротора можно записать:

$$I_2'^2 = \frac{M\cdot\omega_0\cdot s}{3R_2'}. \quad (8)$$

Если учесть то обстоятельство, что для АД при работе на линейной части механической характеристики скольжение весьма мало, то для параметров схемы замещения справедливо следующее неравенство $R_2'/s>>X_2'$. В результате этого угол между векторами токов I_0 и I_2' на векторной диаграмме близок к 90º и для модуля вектора тока I_1 можно принять:

$$I_1^2\approx I_2'^2+I_0^2. \quad (9)$$

Соответственно и для модуля вектора ЭДС на векторной диаграмме можно записать:

$$E^2\approx(I_2'R_2'/s)^2. \quad (10)$$

Подставляя в (10) значение тока I_2' из (8), получим:

$$E^2 = \frac{M\cdot\omega_0\cdot s}{3R_2'}\cdot\frac{R_2'^2}{s^2} = \frac{M\cdot\omega_0\cdot R_2'}{3s}. \quad (11)$$

С другой стороны для модуля ЭДС известно выражение в виде $E^2=I_0^2(R_m^2+X_m^2)$. Отсюда следует, что:

$$I_0^2 = \frac{E^2}{R_m^2+X_m^2}. \quad (12)$$

Если в соотношении (3) вместо токов I_1 и I_0 подставить их значение в виде (9) и (12), то выражение для суммарных энергетических потерь преобразуется к виду:

$$\sum_{i=1}^{5}\Delta P_i = M\cdot\omega_0\cdot s\left(1+\frac{R_1}{R_2'}\right) + \frac{M\cdot\omega_0\cdot R_2'(R_1+R_m)}{s(R_m^2+X_m^2)} + \Delta P_{мех} + \Delta P_д. \quad (13)$$

Поскольку механические потери при работе АД на линейной части механической характеристики изменяются незначительно, то можно принять $\Delta P_{мех} \approx const$. Что же касается условных дополнительных потерь $\Delta P_{д}$, то для этой же части механической характеристики их можно представить как:

$$\Delta P = \frac{\Delta P_{дн} s}{s_н} = \frac{0{,}005 M \cdot \omega_0 \cdot s}{s_н}.$$

Тогда для (13) можно найти экстремум (минимум) суммарных потерь по скольжению, взяв производную от (13) и приравняв её нулю:

$$\frac{d\sum_{i=1}^{n} \Delta P_i}{ds} = M \cdot \omega_0 (1 + R_1 / R_2^{'}) - \frac{M \cdot \omega_0 \cdot R_2^{'}(R_1 + R_m)}{s^2 (R_m^2 + X_m^2)} + \frac{0{,}005 M \cdot \omega_0}{s_н} = 0.$$

В правой части полученного выражения последнее слагаемое составляет всего несколько процентов от первого, поэтому им можно пренебречь. Тогда величина скольжения, при котором суммарные энергетические потери минимальны, равна:

$$s_{опт} = R_2^{'} \sqrt{\frac{(R_1 + R_m)}{(R_1 + R_2^{'})(R_m^2 + X_m^2)}}. \quad (14)$$

Если значение $s_{опт}$ подставить в (13), минимум суммарных потерь предстанет в виде:

$$\sum_{i=1}^{n} \Delta P_{\min} = M \cdot \omega_0 \cdot s_{опт} (1 + R_1 / R_2^{'}) + \frac{M \cdot \omega_0 \cdot R_2^{'}(R_1 + R_m)}{s_{опт}(R_m^2 + X_m^2)} + \Delta P_{мех} + \frac{0{,}005 M \cdot \omega_0 \cdot s_{опт}}{s_н}. \quad (15)$$

Последнее уравнение примечательно тем, что два слагаемых в правой части при $s = s_{опт}$ равны. Одно из них (первое) соответствует потерям от тока $I_2^{'}$ (тока нагрузки), а второе определяется величиной тока намагничивания. Отнесём механические и условные добавочные потери, как это рекомендуется в [8] на вал электрической машины и рассмотрим потери от тока нагрузки и намагничивания более подробно. Обозначим их соответственно как $\Delta P_{переопт}$ и $\Delta P_{пост.опт}$. Они имеют согласно (15) следующий вид:

$$\Delta P_{пер.опт} = M \cdot \omega_0 \cdot s_{опт} (1 + R_1 / R_2^{'}); \quad (16)$$

$$\Delta P_{постопт} = \frac{M_{опт} \cdot \omega_0 \cdot R_2^{'}(R_1 + R_m)}{s_{опт}(R_m^2 + X_m^2)}. \quad (17)$$

В соотношении (16) при традиционном управлении АД, когда питающее напряжение является неизменным, при уменьшении нагрузки ниже значения, соответствующего $s = s_{опт}$, величины момента и скольжения уменьшаются прямо пропорционально. Тогда, перейдя в (16) к относительным единицам, можно записать:

$$\Delta P_* = k M_*^2, \quad (18)$$

где $k = \frac{\Delta P_{пер.опт}}{M_{опт}^2}$.

Из (18) следует, при изменении момента нагрузки в пределах $0 \le M \le M_{опт}$ данная зависимость представляется параболой (рис. 1). В предположении о том, что АД с одинаковой вероятностью работает в каждой точке указанного диапазона нагрузки, найдём среднее значение переменных потерь в этом диапазоне

$$\Delta P_{пер.ср} = \frac{1}{M_{опт}} \int_0^{M_{опт}} k M_*^2 dM = k \frac{M_{опт}^3}{3 M_{опт}} = \frac{\Delta P_{пер.опт}}{3}. \quad (19)$$

В соотношении (17) при традиционном способе управления и снижении нагрузки вниз от значения $M_{опт}$, момент и скольжение изменяются пропорционально, и результат деления $\frac{M}{s} = const$. Отсюда следует, что данные энергетические потери остаются неизменными для всего рассмотренного диапазона. Тогда среднее значение двух названных групп потерь в рассматриваемом диапазоне составит:

$$\Delta P_{ср} = \frac{4 \Delta P_{пер.опт}}{3} = \frac{4 \Delta P_{пост.опт}}{3}. \quad (20)$$

График зависимости постоянных потерь также показан на рисунке 1.

После изложенного вновь обратимся к соотношениям (16) и (17). Если бы при изменении нагрузки вниз от $M_{опт}$ удалось каким-то образом стабилизировать скольжение на уровне $s_{опт}$, то оба вида энергетических потерь стали бы изменяться пропорционально моменту и оставались бы равными. Среднее значение мощности потерь в рассматриваемом диапазоне нагрузки в этих условиях равняется:

$$\Delta P_{ср} = \frac{\Delta P_{пер.опт}}{2} + \frac{\Delta P_{пост.опт}}{2} = \Delta P_{пер.опт} = \Delta P_{пост.опт}$$

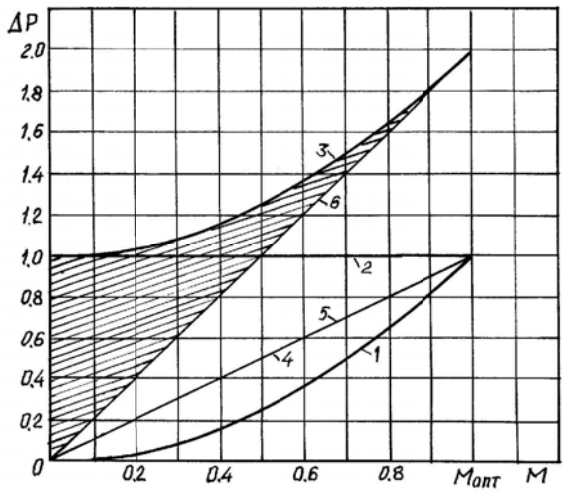


Рис. 1. Характер изменения энергетических потерь в АД при снижении нагрузки вниз от значений оптимальной: 1 – $\Delta P_{пер}$, при $U_ф=const$; 2 – $\Delta P_{пост}$, при $U_ф=const$; 3 – $\Delta P_{пер}+\Delta P_{пост}$, при $U_ф=const$; 4-5 – $\Delta P_{пер}=\Delta P_{пост}$, при $U_ф = k\sqrt{M}$; 6 – $\Delta P_{пер}+\Delta P_{пост}$, при $U_ф = k\sqrt{M}$. Заштрихованная область – объем снижения потерь при законе управления $U_ф = k\sqrt{M}$.

Средняя мощность потерь по сравнению с традиционным управлением АД уменьшается на величину:

$$\Delta P_{экон} = \frac{4\Delta P_{пер.опт}}{3} - \Delta P_{пер.опт} = \\ = \frac{1}{3}\Delta P_{пер.опт} = \frac{1}{3}\Delta P_{пост.опт}. \quad (21)$$

При таком управлении в диапазоне изменения нагрузки экономится 25% от суммарных потерь (см. соотношение (20)). На рисунке 1 сэкономленной энергии соответствует заштрихованная площадь.

Организовать энергосберегающее управление АД для рассмотренных условий изменения нагрузки можно соответствующим законом изменения подводимого к АД напряжения. Поясним это положение, используя (10) и преобразовав его к виду:

$$E=I_2'\cdot R_2'/s \approx U_ф. \quad (22)$$

С другой стороны из (8) имеем:

$$I_2' = \sqrt{\frac{M\omega_0 s}{3R_2'}}. \quad (23)$$

Подставляя (23) в (22) и обозначив $s=s_{опт}$, получим:

$$U_ф \approx \sqrt{\frac{M\omega_0 s_{опт}}{3R_2'}} \cdot \frac{R_2'}{s_{опт}} = k\sqrt{M}, \quad (24)$$

где $k = \sqrt{\frac{\omega_0 R_2'}{3s_{опт}}}$.

Таким образом, стабилизируя скольжение на уровне $s=s_{опт}$, удаётся при изменении нагрузки вниз от оптимальной выполнить соотношение (24) и тем самым обеспечить энергосберегающий режим управления.

Функциональная схема возможной системы энергосберегающего управления приведена на рисунке 2.

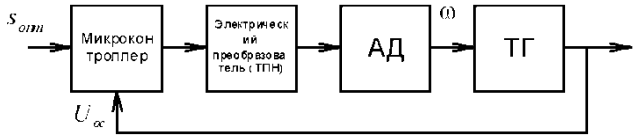


Рис. 2. Функциональная схема системы энергосберегающего управления АД при снижении нагрузки ниже оптимальной

Для реализации энергосберегающего способа систему управления приходится усложнить введением регулятора скорости и типового электрического преобразователя напряжения. Известны и способы определения частоты вращения АД с использованием косвенных измерений [5], тогда отпадает необходимость установки тахогенератора.

Весьма наглядную и объективную оценку возможной экономии энергии при энергосберегающем алгоритме управления можно получить при сравнении графиков КПД двух способов управления – энергосберегающего и традиционного. Для этого был выбран АД типа 4А180S4У3 мощностью $P_н$=22 кВт с синхронной частотой вращения 157с$^{-1}$, $s_н$=0,02, $\eta_н$=90%. Расчёт параметров “Т”-образной схемы замещения дал следующие результаты: X_1=0,42 Ом; R_1=0,214 Ом; X_2'=0,615 Ом; R_2'=0,11 Ом; X_m=21,4 Ом; R_m=2 Ом. Номинальные значения токов оказались равными: $I_{1н}$=40,23 А; $I_{2н}'$=37,18 А; $I_{0н}$=9,57 А. Энергетические потери при номинальной нагрузке составляют:

$\Delta P_{эл1}$=1039 Вт; $\Delta P_{эл2}$=456,2 Вт; ΔP_m=550 Вт.

Поскольку при заданном значении КПД суммарные энергетические потери составляют $\sum_{i=1}^{5}\Delta P_i = 2444$ Вт, то на механические и добавочные остаётся:

$\Delta P_{мех}+\Delta P_д$ =2444-(1039+456+550)=399 Вт.

А так как добавочные потери берутся равными 0,5% от P_1, то $\Delta P_{дн}$=24444·0,005=122 Вт, а механические $\Delta P_{мех}$=399-122=277 Вт.

Далее были рассчитаны графики КПД для традиционного и энергосберегающего способов управления. Для первого при расчёте КПД был принят следующий порядок:

- скольжение задавалось от 0 до 0,025 ($1{,}25s_н$) с шагом 0,001;

- по формуле

$$M = \frac{3U_ф^2 R_2^{'} / s}{\omega_0 \left[(R_1 + C_1 R_2^{'} / s)^2 + (X_1 + C_1 X_2^{'})^2 \right]}$$

рассчитывалось значение электромагнитного момента, где

$$C_1 = \frac{\sqrt{(R_1 + R_m)^2 + (X_1 + X_m)^2} \cdot e^{+ja r c t g \frac{X_1 + X_m}{R_1 + R_m}}}{\sqrt{R_m^2 + X_m^2} \cdot e^{+ja r c t g \frac{X_m}{R_m}}};$$

- полезная мощность рассчитывалась как $P_2 = M(1-s)\omega_0 - \Delta P_{мех} - 0{,}005 M\omega_0$, где составляющая $M(1-s)\omega_0$ – представляет собой механическую мощность;

- переменные и постоянные потери определялись в соответствии с указанным выше диапазоном;

- расчёт КПД выполнялся по соотношению

$$\eta = \frac{M\omega_0(1-s) - \Delta P_{мех} - 0{,}005 M\omega_0}{M\omega_0(1-s) + M\omega_0 s_{опт}\left(1 + \frac{R_1}{R_2^{'}}\right) + \frac{M\omega_0 R_2^{'}(R_1 + R_m)}{s(R_m^2 + X_m^2)}}. \quad (25)$$

Дополнительно отметим, что момент номинальный для данного двигателя оказался равным 144,61Нм. Поэтому номинальные добавочные потери, рассчитанные как $\Delta P_{дн} = 0{,}005 P_{ЭМ} = 0{,}005 M_н \omega_0 = 113{,}6$Вт оказались несколько ниже того значения, которое было принято выше.

Для энергосберегающего способа управления величина КПД рассчитывалось также в соответствии с (25), но при достижении $s = s_{опт}$ и дальнейшем снижении нагрузки скольжение принималось постоянным, равным оптимальному, а изменялся только момент, причём значения момента использовались те же самые, что и при традиционном способе управления. Точкой отсчёта для энергосберегающего режима является $s = s_{опт}$. Для выбранного АД оптимальное скольжение составило $s_{опт} = 0{,}01338$, а значение $M_{опт} = 100{,}84$Нм, что составляет $0{,}697 M_н$. Графики КПД для традиционного и энергосберегающего способов управления приведены на рисунке 3.

Сравнение графиков КПД, на первый взгляд, показывает достаточно высокую энергетическую эффективность энергосберегающего управления АД.

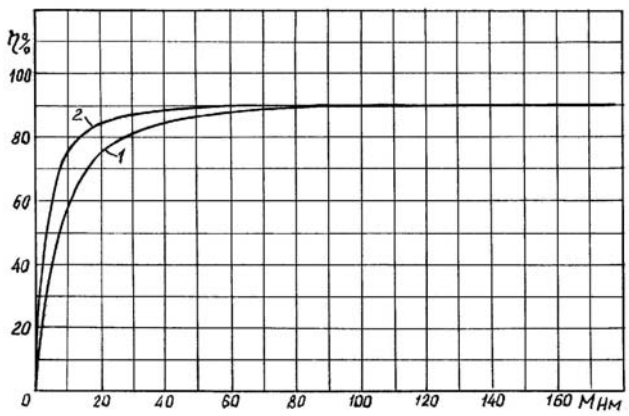


Рис. 3. Графики КПД асинхронного электродвигателя типа 4А180S4У3. 1 – при неизменном питающем напряжении; 2 – при энергосберегающем способе управления по минимуму энергетических потерь

В самом деле, предположим при нагрузке M=8Нм (5,5% от $M_н$) КПД энергосберегающего управления на 20% превышает КПД традиционного способа. Однако, с ростом нагрузки разница между величинами КПД быстро снижается. Например, при M=16Нм (11% $M_н$) она равна12%, при M=32Нм только 5% и приходит к нулю при нагрузке $M_{опт}$=100,84Нм ($0{,}7M_н$). Тем не менее, высокая энергоэффективность рассматриваемого способа управления на малых нагрузках дала повод некоторым иностранным фирмам активно пропагандировать этот способ управления для продвижения своей техники на российский рынок. В частности, одна из них внедрила ряд своих электроприводов на российских мясокомбинатах и деревообрабатывающих предприятиях, утверждая, что их внедрение на 40% уменьшает энергетические потери в АД и позволяет окупить затраты за несколько лет. Однако с учётом реальных условий эксплуатации электроприводов большинства производственных механизмов, трудно согласиться с оптимизмом названных разработчиков и других активных сторонников этого способа энергосбережения. Попытаемся это доказать, рассмотрев наиболее возможные для данного способа управления условия:

- пусть максимальная нагрузка электропривода равна $M_{опт}$ (в нашем случае $M_{опт} = 0{,}7M_н$);

- электропривод работает с равной вероятностью в каждой точке диапазона нагрузки $0 \le M \le M_{опт}$.

С учётом последнего положения можно найти среднее значение КПД АД для двух способов управления в названном диапазоне изменения нагрузки. Численное интегрирование приведённых на рисунке 3 графиков КПД в диапазоне измене-

ния момента $0 \le M \le M_{опт}$ дало следующие результаты:

$$\eta_{АДср.трад}=0{,}7935;\ \eta_{АДср.энерсб}=0{,}8459.$$

Таким образом, среднее значение КПД АД при энергосберегающем управлении и принятом диапазоне изменения нагрузки на 5,24% выше, чем при традиционном управлении. Однако, если учесть дополнительные потери в преобразователе напряжения, то энергосберегающий эффект от рассмотренного управления существенно снизится. В самом деле, КПД преобразователей напряжения достигает значения $\eta_{пр}$=0,95-0,98 [2]. Если взять $\eta_{пр}$=0,97, то средний КПД электропривода в названном диапазоне нагрузки будет составлять:

$$\eta_{ЭПср.энерсб}=0{,}8459 \cdot 0{,}97=0{,}8205.$$

Откуда видно, что средний КПД энергосберегающего управления только на 2,7% превышает традиционный способ. Ещё меньшим будет эффект энергосбережения, если нижний предел нагрузки выше нуля. Для рассматриваемого примера при изменении нагрузки в диапазоне $0{,}1M_{опт} \le M \le M_{опт}$ расчёты дали следующие результаты:

$$\eta_{АДср.трад}=0{,}844;\ \eta_{АДср.энерсб}=0{,}878;$$
$$\eta_{ЭПср.энерсб}=0{,}878 \cdot 0{,}97=0{,}852.$$

Здесь видно, что энергосберегающий способ обеспечивает средний КПД АД только на 0,8% превышающий КПД при традиционном управлении. Поэтому рассматривать энергосберегающий способ управления как самостоятельное мероприятие по энергосбережению нецелесообразно. Его можно рекомендовать для случаев, когда силовой преобразователь необходим в силу технологических причин, например, плавного пуска электропривода. Здесь основной функцией преобразователя является реализация плавного пуска, при достижении номинальной частоты вращения и нагрузки двигателя преобразователь отключается и двигатель получает питание от сети.

При существенном снижении нагрузки ($M \le M_{опт}$) и на длительное время АД может быть подключен к преобразователю для энергосберегающего управления.

В последние десятилетия в связи с достаточно широким распространением для управления АД преобразователей частоты, рассмотренную методику энергосбережения за счёт изменения магнитного потока двигателя закладывается как дополнительная функция управления преобразователей частоты.

Таким образом, подводя итог изложенному выше можно сделать вывод о том, что рассмотренный способ управления АД выявил предельные возможности энергосбережения при управлении питающим напряжением. В среднем энергетические потери в АД могут быть уменьшены на 25% $\Delta P_{опт}$. Последнее хорошо видно на графиках рисунка 3. Площадь, заключенная между графиками 1 и 2 КПД АД составляет примерно ¼ от "площади потерь". Но с учётом энергетических потерь в преобразователе напряжения применять этот способ энергосберегающего управления АД следует только как дополнительную функцию преобразователя, необходимость использования которого вызвана другими причинами. В этом случае никаких дополнительных затрат на энергосбережение не потребуется, кроме изменения программы контроллера. Тогда этот способ энергосбережения не потребует вложений, а КПД электропривода увеличится на несколько процентов.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Новости энергетики // Гл. энергетик. 2007. № 4. С. 3.
2. Ильинский Н. Ф., Рожанковский Ю. В., Горнов А. О. Энергосбережение в электроприводе. М. : Высш. шк., 1989. 128 с.
3. Радин В. И., Брускин Д. Э., Зорохович А. Е. Электрические машины. Асинхронные машины. М. : Высш. шк., 1988. 328 с.
4. Радин В. И., Радина Е. В. Снижение потерь электроэнергии в асинхронных двигателях // Электротехника. 1982. № 6. С. 8–10.
5. Браславский И. Я., Ишматов З. Ш., Поляков В. И. Энергосберегающий асинхронный электропривод. М. : ACADEMA, 2004. 250 с.
6. Ключев В. И. Теория электропривода. М. : Энергоатомиздат, 1988. 704 с.
7. Справочник по электрическим машинам / под ред. Копылова И. П., Клокова Б. К. М. : Энергоиздат, 1988. Т. 1. 455 с.

Шаманов В.И., Суров В.П.

УДК 656.259.12

ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА ПАРАМЕТРОВ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ

Рельсовые линии на электрифицированных магистральных железных дорогах используются не только как каналы передачи сигналов рельсовых цепей (РЦ) и автоматическая локомотивная сигнализация непрерывного типа (АЛСН), но также и как обратная тяговая рельсовая сеть и как распределенный заземлитель. Требования к электрическим параметрам рельсовых линий по условиям работы этих систем различны. Для РЦ и АЛСН наиболее существенными из электрических параметров рельсовых линий являются сопротивления токопроводящих и изолирующих элементов, а также величина асимметрии тягового тока.

Тяжелые условия эксплуатации рельсовых линий как каналов передачи сигнальных токов определяют относительно невысокую надежность этих каналов. Распределенность в пространстве и большое количество разнообразных элементов в рельсовых линиях затрудняет их техническую эксплуатацию, локализацию места отказа и диагностику причин отказов. Техническое обслуживание рассматриваемых элементов требуют высокой квалификации работников, занимает относительно много времени, а отказы приводят к сбоям в движении поездов и ухудшают безопасность их движения. Все это определяет актуальность разработки способов и устройств контроля и диагностики состояния элементов рельсовых линий, существенно влияющих на надежность и устойчивость работы РЦ и АЛСН.

Электрическое сопротивление рельсовых нитей меняется от изменения сопротивления токопроводящих рельсовых стыков. По действующим требованиям токопроводящие стыки не должны увеличивать сопротивление рельсовой нити больше, чем на 20%. Тогда при длине рельсов 25 метров сопротивление токопроводящего стыка не должно быть больше сопротивления шестиметрового отрезка рельса. Сопротивление одного метра рельса типа Р65 на частоте 50 Гц составляет 0,8 мОм, а для постоянного тока – 0,028 мОм. Следовательно, сопротивление токопроводящего стыка не должно превышать 4,8 мОм на частоте 50 Гц и должно быть меньше 0,168 мОм для постоянного тока. Массовое измерение сопротивлений такой малой величины в условиях эксплуатации затруднительно. Разработанные для этой цели приборы не нашли широкого применения из-за неудобства пользования ними.

Для измерения сопротивления малой величины в условиях эксплуатации был разработан «способ двух вольтметров» [1]. При измерениях сопротивления токопроводящих рельсовых стыков на электрифицированных железнодорожных линиях в соответствии с этим способом требуется измерение падения напряжений от тока в рельсовой нити на токопроводящем стыке $\dot{U}_{cm}$ и на отрезке рельса $\dot{U}_0$ фиксированной длины l_0 (рис. 1).

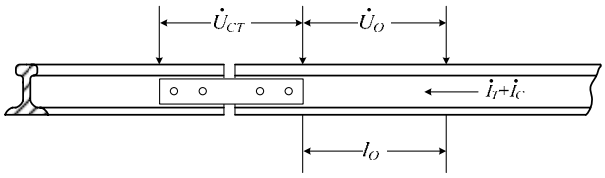


Рис. 1. Способ двух вольтметров

С учетом того, что по рельсовым нитям протекают постоянно как сигнальный $\dot{I}_c$, так и тяговый $\dot{I}_m$ токи, падение напряжения на токопроводящем стыке $\dot{U}_{cm}$ и на отрезке рельса фиксированной длины $\dot{U}_0$

$$\dot{U}_{cm} = \left(\dot{I}_m + \dot{I}_c\right) Z_{cm};$$

$$\dot{U}_0 = \left(\dot{I}_m + \dot{I}_c\right) z_p l_0, \qquad (1)$$

где Z_{cm} - сопротивление токопроводящего стыка, Ом;

z_p - удельное сопротивление рельсов, Ом/м;

l_0 - длина отрезка в метрах, на котором измеряется падение напряжения $\dot{U}_0$

При $l_0 = 1$ *м* условие, что сопротивление токопроводящего стыка Z_{cm} не превышает указанное предельно допускаемое значение его величины

$$\frac{\dot{U}_{ст}}{6\dot{U}_0}=\frac{\left(\dot{I}_T+\dot{I}_c\right)Z_{ст}}{6\left(\dot{I}_T+\dot{I}_c\right)z_p}=\frac{Z_{ст}}{6z_p}\le 1. \qquad (2)$$

Требуемые измерительные и вычислительные операции очень просты, поэтому способ очень удобен при ручном контроле состояния изолирующих рельсовых стыков и при измерении относительной величины их сопротивления. Способ вошел в инструкцию [2] и широко используется эксплуатационным штатом на электрифицированных железнодорожных линиях. Поскольку падение напряжения на одном метре рельса может составлять единицы милливольт, при ручном измерении этого напряжения должны использоваться достаточно чувствительные приборы, например, мультиметры типа APPA 301.

Способ был использован в изобретениях [3, 4]. Устройства по этим изобретениям, имея очень простую схему измерительного преобразователя, обеспечивают возможность и измерять, и контролировать в производственных условиях предельно допустимые значения токопроводящих стыков или любых других сопротивлений малой величины.

В токопроводящих рельсовых стыках 2 на электрифицированных участках железных дорог ток $\dot{I}_p$ протекающий по рельсам 1, проходит по трем цепям: ток $\dot{I}_н$ - по рельсовым накладкам 3, ток $\dot{I}_{cc1}$ – по основным приварным соединителям 4 и ток $\dot{I}_{cc2}$ – по дублирующим штепсельным стыковым соединителям 5 (рис. 2). Запатентованный способ [5] позволяет определить, сопротивление какой из этих трех цепей превышает допустимую величину.

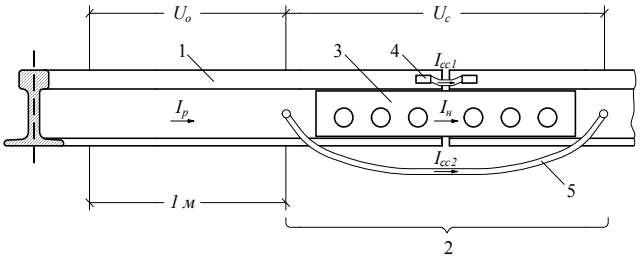


Рис. 2. Диагностика состояния элементов токопроводящего рельсового стыка

В соответствии с этим способом предварительно по справочным данным находят численное значение удельного сопротивления рельсов $z_р$, измеряемого в Ом/м, и в соответствии с типами применяемых основного 4 и дублирующего 5 рельсовых стыковых соединителей задаются нормативными относительными значениями распределения тока в рельсе $\dot{I}_p$ по элементам токопроводящего стыка: $k_н^н=\dot{I}_н/\dot{I}_p$ – относительное нормативное значение тока в накладках; $k_{cc1}^н=\dot{I}_{cc1}/\dot{I}_p$ – относительное нормативное значение тока в основном стыковом соединителе; $k_{cc2}^н=\dot{I}_{cc2}/\dot{I}_p$ – относительное нормативное значение тока в резервном стыковом соединителе.

Затем измеряют падение напряжения $\dot{U}_c$ на стыке 2 и падение напряжения $\dot{U}_0$ на отрезке сплошного рельса длинной один метр, а также токи $\dot{I}_{cc1}$ – в основном стыковом рельсовом соединителе 4 и $\dot{I}_{cc2}$ – в дублирующем стыковом рельсовом соединителе 5. Ток $\dot{I}_н$ в накладках 3 находится затем по результатам вычислений.

По результатам измерений вычисляют ток в рельсе:

$$\dot{I}_p=\dot{U}_0/z_p\ . \qquad (3)$$

Тогда относительные фактические значения токов в основном и в дублирующем рельсовых соединителях, а также в накладках:

$$k_{cc1}^н=\frac{\dot{I}_{cc1}\cdot z_p}{\dot{U}_0};\quad k_{cc2}^н=\frac{\dot{I}_{cc2}\cdot z_p}{\dot{U}_0};$$

$$k_н^н=\frac{\dot{I}_p-\left(\dot{I}_{cc1}-\dot{I}_{cc2}\right)}{\dot{I}_p}=1-\frac{\left(\dot{I}_{cc1}+\dot{I}_{cc2}\right)\cdot z_p}{\dot{U}_0}. \qquad (4)$$

Вычисленные относительные значения токов в элементах рельсового стыка сравнивают с их соответствующими нормативными значениями. Неисправным считается тот элемент, фактическое относительное значение тока в котором меньше нормативного, то есть фактическое электрическое сопротивление которого больше нормативного.

Этот способ, являясь, по сути, способом неразрушающего контроля состояния элементов рассматриваемых стыков, позволяет использованием нескольких дополнительных к способу двух вольтметров измерительных и вычислительных операций диагностировать состояние элементов рельсового токопроводящего стыка.

Способ позволяет, например, контролировать качество приварки стыковых соединителей или выбраковывать медные соединители, у которых в процессе эксплуатации за счет электрохимической коррозии увеличилось сопротивление переходов между стальными манжетами и медным проводом соединителя. Способ позволяет также выявлять стыки с повышенным сопротивлением в рельсовых накладках.

Измерительный преобразователь, позволяющий реализовать совместно рассматриваемый способ диагностирования и способ двух вольтметров, запатентован в устройстве [6].

Известные методы и приборы для измерения или контроля сопротивления изолирующих стыков и элементов изоляции в стрелочных переводах основаны на использовании генераторов специального испытательного сигнала, селективный контроль которого позволяет рассматривать РЦ как пассивный многополюсник. При этом возникает проблема разработки устройств, обеспечивающих измерение параметров двухполюсной цепи без нарушения целостности сложных цепей, в состав которых входит двухполюсник, сопротивление которого надо найти. Результаты контроля должны быть инвариантны по отношению к неконтролируемым параметрам сложной цепи.

В ряде технических решений проблема инвариантности преобразования контролируемого параметра в унифицированный сигнал решалась за счет использования синусоидального сигнала ультразвуковой частоты в качестве испытательного при измерении сопротивления стыков методом амперметра и вольтметра. Разработан также прибор для контроля состояния изолирующих стыков, где в качестве испытательного тока использованы импульсы разряда конденсатора.

Однако такие приборы не могут обеспечить достаточную достоверность контроля. Сопротивление изолирующих стыков меняется от нуля до тысяч Ом, но для практических целей наиболее интересен диапазон от 5 до 200 Ом в районе минимально допускаемых нормируемых значений 30-50 Ом. В то же время сопротивление обходных цепей для испытательного тока даже ультразвуковой частоты меняется в зависимости от сопротивления изоляции РЦ в пределах от нескольких тысяч Ом до 20-40 Ом в РЦ без дроссель-трансформаторов и до 10-30 Ом в РЦ с дроссель-трансформаторами.

Выполненный анализ показал следующее. При использовании прибора для измерения или контроля сопротивления изолирующих стыков в диапазоне от 0 до 60 Ом с измерительным генератором, работающим на частоте 80 кГц, относительная методическая погрешность измерения не более 10% получается только при сопротивлении изоляции рельсовой линии порядка 100 Ом·км в РЦ переменного тока без дроссель-трансформаторов. Следовательно, простой выбор повышенной частоты испытательного сигнала рассматриваемую проблему отстройки от обходных цепей не решает.

Методы топологического синтеза активных электрических цепей позволяют решить рассматриваемую проблему инвариантности при использовании прямых методов измерения токов и напряжений в узлах проверяемой многополюсной электрической цепи с последующей обработкой сигналов в измерительных преобразователях.

Подключение генератора испытательного сигнала ультразвуковой частоты по одну сторону от контролируемого изолирующего стыка между рельсом и заземлителем и измерение тока генератора, его напряжения и падения напряжения испытательного сигнала на изолирующем стыке позволяет контролировать состояние стыка с использованием простого измерительного преобразователя [7]. Однако область применения этого метода ограничена только рельсовыми цепями без дроссель-трансформаторов, в которых входное сопротивление аппаратуры того конца РЦ, где подключается испытательный генератор, заметно больше входного сопротивления аппаратуры смежной РЦ, подключенной за изолирующим стыком. Ограничение это вызвано зависимостью результатов контроля от сопротивления другого изолирующего стыка из пары рассматриваемых стыков.

Существенно повысить точность измерения сопротивления изолирующих стыков при подключении испытательных сигналов по разные стороны контролируемого стыка можно за счет бесконтактного измерения в рельсе обоих составляющих тока измерительного генератора - через стык и через обходные цепи [6]. Погрешность измерения определяется при этом точностью преобразования величин этих токов в пропорциональные им сигналы на выходе датчиков тока, из которых в настоящее время наиболее чувствительны индуктивные элементы. Наибольшая точность измерения сопротивления изолирующих стыков в требуемом диапазоне обеспечивается в диапазоне изменения соотношения величин измерительных токов через стык и через обходные цепи от 0,1 до 10.

В соответствии с этим изобретением напряжение измерительного генератора $\dot{U}_Г$ подается на рельсы 1 и 2 по разные стороны измеряемого изолирующего стыка 3 (рис. 3). Часть тока измерительного генератора $\dot{I}_Г$ протекает через изолирующий стык $\dot{I}_c$, а другая часть $\dot{I}_0$ течет через обходные цепи. Одна составляющая тока $\dot{I}_0$ течет в обход изолирующего стыка через половины основных обмоток дроссель-трансформаторов 4 и 5 – ток $\dot{I}_{от}$ а другая часть этого тока $\dot{I}_у$ течет через сопротивления рельсовых нитей 1 и 2 по отношению к земле.

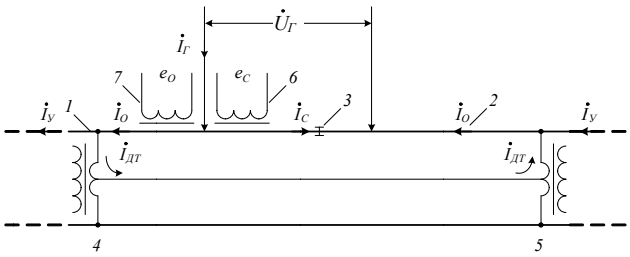


Рис. 3. Схема измерения сопротивления изолирующих стыков

ЭДС e_c и e_0 на выходе измерительных катушек 6 и 7 пропорциональны токам соответственно $\dot{I}_c$ и $\dot{I}_0$. При одинаковой конструкции измерительных катушек

$$e_c = K\dot{I}_c,\ e_0 = K\dot{I}_0, \qquad (5)$$

где К - одинаковые коэффициенты передачи по каналам $\dot{I}_c - e_c$ и $\dot{I}_0 - e_0$.

Напряжение на выходе измерительного преобразователя получается по результатам следующих вычислений с учетом того, что $\dot{I}_c + \dot{I}_c = \dot{I}_Г$

$$\dot{U}_П = \frac{\dot{U}_Г}{\dot{I}_Г}\cdot\frac{e_0}{e_c} + \frac{\dot{U}_Г}{\dot{I}_Г} = \frac{\dot{U}_Г}{\dot{I}_Г}\cdot\frac{K\dot{I}_0}{K\dot{I}_c} + \frac{\dot{U}_Г}{\dot{I}_Г} = \\ = \frac{\dot{U}_Г}{\dot{I}_Г}\cdot\left(\frac{\dot{I}_0}{\dot{I}_c}+1\right) = \frac{\dot{U}_Г}{\dot{I}_Г}\cdot\frac{\dot{I}_0+\dot{I}_c}{\dot{I}_c}\cdot\frac{\dot{U}_Г}{\dot{I}_c}. \qquad (6)$$

Следовательно, напряжение на выходе измерительного преобразователя пропорционально напряжению изолирующего стыка.

Из-за геометрических требований к построению прибора для измерения сопротивления изолирующих стыков его измерительные катушки располагаются на небольшом расстоянии друг от друга. В результате этого ЭДС на выходе каждой катушки содержит также паразитную составляющую, наведенную током, протекающим под другой катушкой.

Уменьшить методическую погрешность измерения сопротивления изолирующих стыков можно использованием дополнительной контрольной информации для компенсации влияния на результаты измерений рассмотренных перекрестных помех. Получить эту информацию позволяют два компенсационных датчика, устанавливаемых в дополнение к основным измерительным датчикам. Путем несложных преобразований выходных сигналов датчиков обеспечивается исключение влияния рассматриваемых помех на результаты измерения [9].

Достаточно точное измерение сопротивления как токопроводящих, так и изолирующих элементов рельсовой линии обеспечивает способ по авторскому свидетельству на изобретение [10] за счет компенсации измерительным преобразователем сигналов, пропорциональных падениям напряжения на всех сопротивлениях двух идентичных контуров для измерительных токов, кроме падения напряжения на измеряемом сопротивлении. Измерительные токи в контурах могут различаться частотой или они могут быть разными полуволнами выпрямленного напряжения одной частоты.

В кодовых РЦ достоверный контроль состояния изолирующих стыков обеспечивается за счет измерения уровней помех в интервалах собственных кодовых комбинаций [11]. Схема такого датчика монтируется в стандартном корпусе реле типа НМШ-1, и получаемая информация может использоваться как в виде визуального сигнала для обслуживающего персонала, так и в системах удаленного контроля и мониторинга.

Асимметрия тяговых токов в рельсовых линиях является источником помех на работу как локомотивных приемников АЛСН, так аппаратуры РЦ. Величину токов асимметрии в настоящее время можно измерять только в дроссельных перемычках с использованием токовых клещей, то есть только в рельсовых цепях, разделяемых изолирующими стыками, в местах установки дроссель-трансформаторов.

Как показали проведенные исследования, асимметрия тягового тока под приемными локомотивными катушками меняется при движении поезда даже по рельсовой линии с неизменными по её длине продольным и поперечным сопротивлениями по мере приближения головного электровоза поезда к месту установки аппаратуры, подающей в рельсовые линии кодовые сигналы АЛСН. Реальные рельсовые линии отличаются неоднородностью продольных и поперечных сопротивлений по их длине. Поэтому изменение рассматриваемой асимметрии при движении поезда носит псевдостохастический характер. При выяснении причин неустойчивой работы систем АЛСН часто возникает необходимость определения величины асимметрии тягового тока на том отрезке рельсовой линии, где фиксируется повышенное количество сбоев. Измерять величину асимметрии тягового тока в любой точке рельсовой линии дает возможность запатентованное устройство [12].

Все разработанные устройства контроля и диагностики требуют использования в них измерительных преобразователей. В опытных образцах приборов, успешно испытанных в условиях эксплуатации Транссибирской магистрали и Казахстана, применялись измерительные преобразователи на микроэлектронной базе.

Основным недостатком универсального измерительного прибора с измерительным преобразователем на микроэлектронной элементной базе

является то, что расширение его функциональных возможностей требует усложнение схемы прибора, так как каждый новый измерительный канал требует добавления функциональных элементов. Например, схема индикатора состояния токопроводящих и изолирующих стыков в рельсовых цепях, разработанного на кафедре «Автоматика и телемеханика» ИрГУПСа с использованием авторских свидетельств на изобретение [4, 7], содержит семь микросхем. Добавление к нему, например, канала для диагностики состояния элементов токопроводящих стыков по патенту [12] требует схемной реализации еще двух десятков функциональных элементов. Поэтому более рациональным является применение в таких приборах микропроцессорной базы.

Использование рассматриваемых изобретений дает возможность разработать универсальный измерительный прибор электромеханика СЦБ, включающий в себя все функции по контролю и диагностике параметров рельсовых цепей. Изобретения обеспечивают также возможность разработки и массового выпуска более простого варианта прибора, необходимого, прежде всего, работникам дистанций пути, обслуживающих рельсовые цепи, и обеспечивающего получение, например, только три вида визуальных сигналов о состоянии контролируемых элементов: «исправен», «предотказ», «отказ».

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Шаманов В. И. Измерение параметров рельсовых цепей Автоматика, телемеханика и связь. 1993. № 8. С. 33–34.
2. Инструкция по защите железнодорожных подземных сооружений от коррозии блуждающими токами / М-во путей сообщ. РФ. М. : Трансиздат, 1999. 128 с.
3. А. с. 1798729 СССР, МКИ^5 А1 5 G 01 R 27/00. Устройство для измерения сопротивления малой величины / Шаманов В. И., Мухамеджанов К. С., Михалдык В. П. ; заявитель Алма-Атин. ин-т инж. ж.-д. трансп. (СССР) ; заявл. 16.07.90, №. 4851793 ; опубл. 28.02.93, Бюл. № 8. 5 с. : ил.
4. А. с. 1792861 СССР, МКИ^5 А1 5 G 01 R 27/00. Стыкоизмеритель для электрифицированных железнодорожных линий / Шаманов В. И., Мухамеджанов К. С., Михалдык В. П. ; заявитель Алма-Атин. ин-т инж. ж.-д. трансп. (СССР) ; заявл. 16.07.90, №. 4851793 ; опубл. 28.02.93, Бюл. № 5. – 5 с. : ил.
5. Пат. 2296686 Российская Федерация, МПК^5 С1 В 61 L 23/00. Способ диагностирования состояния элементов токопроводящих стыков / Шаманов В. И., Пультяков А. В., Трофимов Ю. А. ; заявитель и патентообладатель Иркут. гос. ун-т путей сообщ. (СССР) ; заявл. 28.09.05, № 2005130264/11 ; опубл. 10.04.07, Бюл. № 11. 5 с. : ил.
6. Пат. 2304060 Российская Федерация, МПК^5 С2 В 61 L 23/16. Устройство для диагностирования состояния элементов токопроводящих стыков / Шаманов В. И., Шевердин И. Н., Быстров А. Н., Пультяков А. В., Трофимов Ю. А. ; заявитель и патентообладатель Иркут. гос. ун-т путей сообщ. (СССР) ; заявл. 13.08.2005, № 2005130871/11 ; опубл. 10.04.2007, Бюл. № 22. 5 с. : ил.
7. А. с. 1423446 СССР, МКИ^5 А1 4 В 61 L 23/16. Устройство для измерения сопротивления изолирующих стыков рельсовых цепей / Шаманов В. И., Михалдык В. П., Ведерников Б. М. ; заявитель Алма-Атин. ин-т инж. ж.-д. трансп. (СССР) ; заявл. 25.03.87, № 4214872 ; опубл. 15.09.88, Бюл. № 34. 5 с. : ил.
8. А. с. 1284874 СССР, МКИ^5 А1 4 В 61 L 23/16. Устройство для измерения изолирующих стыков рельсовых цепей / Шаманов В. И., Михалдык В. П., Шаманова С. И., Никулин Л. В. (СССР) ; заявитель Алма-Атин. ин-т инж. ж.-д. трансп. ; заявл. 29.05.85, № 3903545 ; опубл. 23.01.87, Бюл. № 3. 3 с. : ил.
9. А. с. 1799786 СССР, МКИ^5 А1 5 В 61 L 23/16. Устройство для измерения сопротивления изолирующих стыков / Шаманов В. И., Шаманова С. И. ; заявитель Алма-Атин. ин-т инж. ж.-д. трансп. ; заявл. 18.01.91, № 4903163 ; опубл. 07.03.93, Бюл. № 9. 4 с. : ил.
10. А. с. 1799788 СССР, МКИ^5 А1 5 В 61 L 23/16. Устройство для измерения сопротивления стыковых соединений рельсовой линии / Шаманов В. И., Никулин Л. В., Михалдык В. П., Шаманова С. И. ; заявитель Алма-Атин. ин-т инж. ж.-д. трансп. (СССР) ; заявл. 18.01.91, № 4903163 ; опубл. 07.03.93, Бюл. № 5. 4 с. : ил.
11. А. с. 1613374 СССР, МКИ^5 А1 5 В 61 L 23/16. Кодовая рельсовая цепь переменного тока / Шаманов В. И., Михалдык В. П., Ведерников Б. М. ; заявитель Алма-Атин. ин-т инж. ж.-д. трансп. (СССР) ; заявл. 24.05.88, №. 4430944 ; опубл. 15.12.90, Бюл. № 46. 4 с. : ил.
12. Пат. 2334643 Российская Федерация, МПК^5 С2 В 61 L 23/16. Устройство для измерения параметров рельсовых цепей на электрифицированных железнодорожных линиях / Шаманов В. И., Суров В. П., Пультяков А. В., Трофимов Ю. А., Шаманова С. И. ; заявитель и патентообладатель Иркут. гос. ун-т путей сообщ. ; заявл. 05.07.06, № 2006124127/11 ; опубл. 27.09.08, Бюл. № 27. 5 с. : ил.

Wang Sen

УДК 007.51

APPLICATION PROSPECT AND METHODS OF GENETIC ALGORITHMS IN INTELLIGENCE DESIGN

1. Introduction

The genetic algorithm proposed from 1975 until now, is unceasingly increasing its maturity, and its application domain also is in unceasing expansion, from the aerospace, forecast that the combination optimizes, taxonomy, research areas on artificial intelligence to production planning, management domains, economic projection and so on, especially in the intellectualized design, its merit is quite prominent. But viewed from the current form, genetic algorithm's application are quite relatively few in the domestic research and application, but the recent years it has the tendency to popularize gradually. As a graduate student researching in this area, to seize this opportunity, to acquire understanding and the assurance as a whole about genetic algorithm's prospect and the application method is very significant both in the academic and the practical .

2. Basic concept

2.1. Genetic algorithm concept

The genetic algorithm is one kind searching algorithm based on evolution theory that superior win and the inferior wash out, natural selection, survival of the fittest and species heredity thought optimization. GA thought was most early offered by American Michigan University's J.H. Holland who proposed it in the late 60s of 20 century. But at that time it did not evoke the public attention as a result of its immaturity as well as the low level of computer technology. Until 1975, Holland carried on system's introduction regarding GA only then to arouse all quarters interest, hereafter, many scholars have conducted the fruitful research, carried on the beneficial exploration and the consummation to algorithm's characteristic, and applied it successfully in many domains, like the parameter optimized, machine learning, system decision-making, common difference assignment, process engineering, production scheduling, self-adaptive system design and so on.

2.2. The basic idea of Genetic algorithm

Genetic algorithm's basic philosophy is to cause the solution of the question to be unceasingly ‘evolving’ to obtain the best solution that meets all needs The genetic algorithm is one kind of iterative algorithm, it begins at a preliminary result according to certain operating instruction, like choice, duplication, overlapping, the variation and so on, to calculate continuously to get the new solution collection. And according to the individual sufficiency, according to the survival of the fittest and superior win and the inferior wash out principle, it guides the searching process to approach the individual “most adapts to the circumstances” (optimal solution), evolves more and more good approximate solution gradually, which finally restrains to the optimal solution or the satisfactory solution of the question .

2.4. The Characteristic of Genetic algorithm

The reason that the genetic algorithm can arouse researcher's enormous interest, and its so widespread development are greatly related to its own remarkable merit.

Auto-organization, auto-adaptation and auto-study(intelligent nature). The natural selection eliminated an algorithm design process a biggest barrier, namely needs to describe the question complete characteristic beforehand, and must explain that it should take the different measures in view of the question’s different characteristic algorithm. Therefore, using genetic algorithm's method may solve the complex non-structurized problems.

Essential parallelism. The genetic algorithm searches a point of destination concerning population number according to the parallel mode, but not the single one. Genetic algorithm's parallelism displays in two aspects. On one hand, the genetic algorithm is intrinsically paralleled, namely genetic algorithm itself is very suitable to be massively paralleled. On the other hand, the genetic algorithm has the content parallelism, namely it may simultaneously search the solution space across many regions, and exchanges the information mutually. This enables the genetic algo-

rithm to obtain the great income by the few computations.

Robustness. As genetic algorithm uses individual sufficiency impetus community's evolution, not considering the structural property of question itself, therefore it only needs to design the corresponding sufficiency evaluation functions in solving different questions, but does not need to revise the other parts of it, thus has the very good robustness.

The genetic algorithm to assigned question, may have many latent solutions, it may eventually determined by the user The genetic algorithm regarding the multi-objective searches or the situation of needing determine the substitute solution combinations is especially qualified for.

It uses the community to search, starts from many initial points to search, a little easy to falls into its partially most superior.

It uses mathematics code to express individual using choice, overlapping, variation and so on to carry on the operation, does not need the derivative information and the objective function to continue.

The concept is simple, easy to grasp, the algorithm utilize natural selection, the survival of the fittest rule guide population searches superiorly, has certain auto-adapted quality, therefore the operator does not need to have too many understandings about the characteristics of the objective function.

It is one kind of stochastic optimized algorithm, based on probability principle, not the definite principle to carry on the search. Some optimized question's objective function technology has the random error, the results of former calculations on the objective function regarding the same design variable has certain error with the latter time result. The definite optimization algorithm is very sensitive to this error, but the genetic algorithm uses the probability principle and the multi-spot search, can accept the inferior result to a great extent, therefore is quite steady to the random error.

2.4. The main operation of GA

The main arithmetic operators of inheritance arithmetic have three kind, choice, intersect and aberrance, which play different roles in population's evolution .

Arithmetic operators' choice is natural choice and the motivation of surviving and competition, One's adaptation is the basis of the choice .One who's adaptation is big will breed constantly among the population on the contrast, it will be eliminated gradually . The former breeds the next generation, which provides the base for intersectine and aberrance .

Intersection is the mainly searching of inheritance arithmetic while the choice can only select the better one in the existing population to enter next generation, and can't produce a new one intersection imitates the phenomenon of creature mating ,in which changing genes between different bodies happens and begin to reorganization .After that a new one will be produced .

Aberrance has been put forward through imitating the phenomenon of aberrance .It makes the population an open system .The choice and the intersection are population and this operation is close and can't produce the new gene .It is also limited that the area of the new ones by organization the genes .The filtratiny function of choice also reduces the genes' diversity in the population. Aberrance makes genes changed at random, which adds new genes to the population, making up the gene missing for the filtrating function of choice, meanwhile it also makes the population an open system .

2.5. The basic frame of GA

Goldbery describes the frame of GA. Different from searching way of the tradition, GA produce a set of the solution at random firstly, which is called population. Each one in the population is a chromosome, representing candidate solution in problem of optimization. Each chromosome is a code bunch, and a binary in usual. The chromosome evolved through interaction, producing a new population. The chromosome evolves in every generation, which can be assessed by fitness. There are two way to produce generation of chromosome first merge the two chromosome through crossover second chromosome by mutation, and select the next generation through calculating the adaptation. At the same time, the other generation keeps the amount of population then make a new generation. After several generations evolution, the population produces the best chromosome, which represent the optimal solution or the approximate solution of the problem . Among the t generations, take p(t) as the elder c(t) as the next. The total frame of GA as follows:

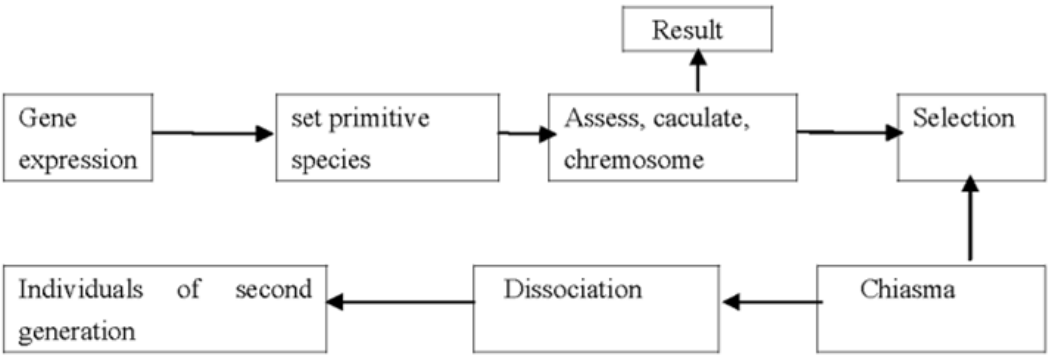


Fig. 1.

Start:
t←0
initialize D(t);
assess p(t);
go on until meet the condition of ending
restructor p(t) generate C(t)
assess C(t)
choose p(t+1) from p(t) and C(t)
t←t+1
End;

From above we can see, actually ,the basic operation of inheritance calculations can be concluded into two parts from three parts in the last elucidation:

(1) Inheritance: chiasma and dissociation
(2) Evolution: selection

The graphical representation is as the fig. 1.

2.6. Conception of Intelligent Design

With the rapid development of science technology like information theory, cybernetics ,system theory est., global market competition is increasingly severe, the variety of product is becoming more and more ,modernizing is much faster ,the complication is rising and delivery date is shorter and shorter .The product making is gradually taking the place of the produce methods that has single product and large quantities in a way of more varieties but small quantities .Under this kind of way of producing ,only shorten the manufacture circle of products and cut off the cost of products can improve the competition power and possession share in the market .For meeting the demand of market ,a series of new technology, new thoughts and new mode like CAD/CAM ,CIMS ,CE est. are catering .Under the knowledge of unified methodology ,theories and intelligence is gradually applied to product design ,so product intelligence is formed .Product intelligence design mainly combines the CAD system capable of knowledge processing ,and then forms a new system namely ICAD (Intelligent Computer Aided Design).And such processing is called intelligent design .

2.7. The Essence of Intelligence Design

The procedure of seeking for tool and tool combination that meet the function need in the premise of complying with physic lain .

2.8. The Features of Intelligence Design

The main features of intelligent design method is: accarding to design methodology theory, in use of three-dimensional graph software, intelligent design software, dummy reality technology and multimedia, super-media tools to do the explore and design of products ,to show the idea of product and to describe the structure of products .

3. Application Prospect and Methods

3.1. Application Thoughts

From bionics, many scientific theories and inventions borrow and make the use of existed knowledge model of biological world. Among them, artificial intelligence, genetic algorithms and neural net are all prominent representatives of those theories. Their set forth and widely use can fully prove the advantage of bionics.

Creatures of biological world show their feature information or functional characteristic information through genetic medium. While each gene is formed by the combination of a large amount of DNA fragment according to their own permutation orders .A DNA section has its own special basic functional information and each DNA section is formed by 4 kinds of basic nucleotide A, C, G, T that combine in different permutation order. Such idea that use the most basic combination of nucleotide to show final characteristic can also be used in Intelligence Design. Sometimes it needs repeatedly utilize some characteristic components or some parts very often to complete some functional design when designing products. We can separate products that are going to be

designed into the most basic graph .For example rectangle ,circular ,triangle trapezoid and the most basic space enlarge and complement structure such as a circular cylinder, a cone, a spheroid, a cube, a wedge body, a circular cylinder and so on .Just as small number of nucleotide can form different kinds of creatures ,even though the number of those basic characteristics is small ,they can produce different kinds of structural components with different combination in space .For example ,the following big 3D software such as CATTA ,VG and PRO/E ect are using those basic characteristic as basic graph.

Genetic algorithms are mainly applied to the problem of optimized solution and auto-control. When we are designing, it is inevitable to meet getting small step and step ,seeking for accuracy, process of optimized solution and procers that need auto-control .For example ,when designing products ,through what combination can make the function of some parts or component get maximum optimization or a better optimization are all practical problems .And genetic algorithms showed its strong superiority in the procers of dealing with these problems .

3.2. Present Application Condition

Genetic algorithms provided a commonly use framework for solving the problem of complex system's optimization which dose not depend on problem's specific area but has a strong robustness to problem's kind .As a result, it is widely used in many subjects .The genetic algorithms mainly consist of 9 application areas :function optimization ,combination optimization ,produce and distribution problem ,auto-control ,robot's study ,picture's dealing ,artificial life ,inheritance program and machine study .And among them ,four of The following is used in Intelligence Design:

(1) Function optimization. Function optimization is the typical application area of Genetic Algorithms and also the commonly use algorithm example to evaluate the performance of genetic algorithms.

Many people make up variety testing functions that have complex form. There are continuous function and discrete function, convex function and concave function , lower uygur function and higher uygur function, certain function and random function, and single-peak-value function and multi-peak-values function est. With those functions that have different geometry characteristics to evaluate genetic algorithms' characteristic can better reflect the essence effect of the algorithm. While to some nonlinear, multi model and multi objective function optimization problems, it is difficult to solve them by other optimization methods but genetic algorithms can conveniently get a better result.

(2) Combination optimization. With the growing of more problems, the searching space for combination optimization problems also sharply enlarged. Sometimes, it is very difficult of impossible to get the best answer with the method of enumeration in present computer. To this kind of complex problems, people have had the awareness that we should put most of our time on seeking for their satisfactory answer and genetic algorithms is exactly the best tool for seeking such satisfactory answer. Practice proved that genetic algorithms are very effective to NP complete problem of combination optimization.

(3) Produce and distribution problem. The produce and distribution problem, in many situations, cannot get accurate answer from mathematic models that have been set up. Even if the problem can solve after some simplification, the result still has a far distance from reality for being simplified too much. While at present in real produce procedure also mainly depend on experience to distribute. Now genetic algorithms has become the effective tool for solving the complex distribution problem and has got a effective application in aspects like the piecework workshop dispatcher, the assembly line workshop production scheduling. Produce plan and task distribution est.

(4) Auto-control. In the field of auto-control, many problems that are related to optimization need to be solved. Genetic algorithms has been primarily used in it and showed a good effect. For example, to optimize aeronautic control system with genetic algorithms, to design space meet control machine by using genetic algorithm, the optimization design of fuzzy control machine that based on genetic algorithm, parameter's distinguish on genetic algorithm, the study of fuzzy control rules that also based on genetic algorithm and to make artificial neural net's structure optimization design and scaling values study by making use of genetic algorithms, etc all showed genetic algorithms' possible application in these field.

3.3. Vista exploration

(1) Genetic algorithms itself exist some place to be improved. Generally speaking, mainly improve the following aspects: improvement of selection operator (from single across operator to multi across operator or even chiasma operator); improvement of dissociation operator (to solve hamming precipice problem by using Gray code); Self-adaptation code

(Code accuracy improved without changing the length of code), improvement of stop criterion (stop calculating by judging species has restrained and won't evolve any more); the set forth of optimization strategy (Compulsorily copy one of the best individual of last generation to the next generation to take place any individual of the worst individual); Strategy against restrains too early (take the big dissociation action to separate species to start re-evolution after having judged that species has restrained. Compare the best answer with last time's when species is restrained to see if there is any improvement when species restrain again. 24 the best answer has no improvement after K time's restraining when stop evolution.); Strategy avoid piling of inheritance (Keep the distribution of species in an even state, that is, microhabitat technology. And the most commonly used method is the share function method.). Improve algorithms so as to enhance the efficiency of practical application. Genetic algorithm hasn't completely become mature which provides a larger research space.

(2) Intelligence design can be decided into the following according to intelligence design level: conventional intelligence (design of inferential machine). Primarily intelligence design (CBD or association design) and higher intelligence design (evolution design). At present, the popular design is the first kind. But it can only solve common design problems that have good definition and structure design. At present, primarily intelligence design has had a initial success theory knowledge. For example, realized a certain break through of the design of inferential machine through the design method that based on living example inference and neural net optimization parameter design. However, system cannot produce new design scenario or design model automatically. With the bring in of genetic algorithms, the mechanical engineering field has the evolution design. But there still exist tow problems: 1. Genetic algorithms mainly solve optimization problems. While the most difficult for intelligence design not only is optimization but also mainly is the creation of the design scenario; 2. The code string that genetic algorithms need now only are binary and decimal code. As a result, the model information can not be expressed completely and directly. Meanwhile, it has no good to do creative design scenario. Therefore, quite naturally, we will think whether can bring genetic algorithms into the scenario-design stage. The set forth of designing evolution model by M.A. Rosenman make the evolution calculation a useful tool for realizing in conventional design which symbolize that intelligence design has come to a new stage. At present, there has had thesis that explore to this field in our country. I think it should be a great application of genetic algorithms in intelligence design.

(3) A tendency that worth to be special valued is some intelligent technology that face to items. During them the synthesis application of fuzzy logic, neural network and GA are the main use. As known to all, FL has comparatively strong ability for knowledge expressing and NN's advantage lies in self-learning. They combine with GA form a new circuit technology, which is so-called Hybrids intellectual system. And the application of such intellectual system will be every-where in a few years.

3.4. Application Methods

Genetic algorithms in practical application, the real meaning that gene and primary species representative will be different. But practical problems as long as they are based on GA, the operation step would be similar We show them in the form of graphical representation as following fig. 2.

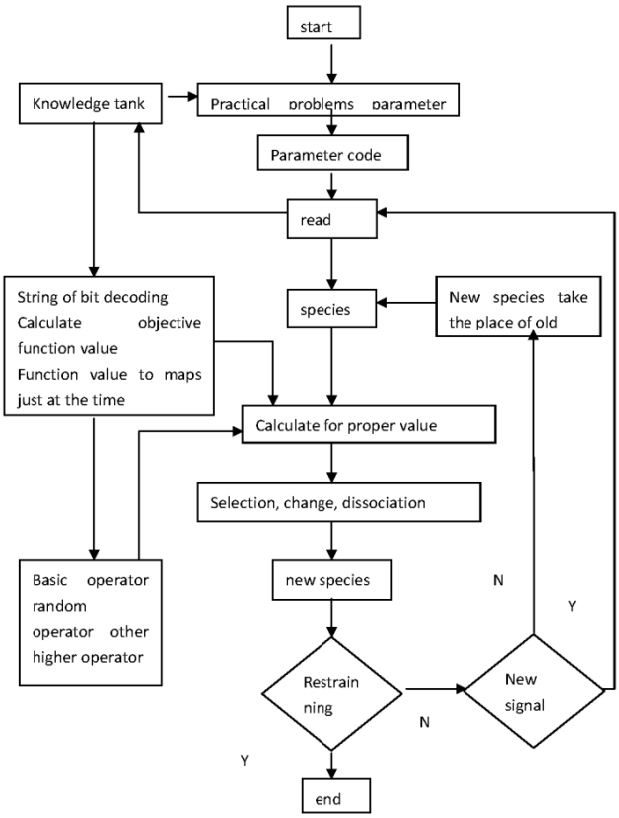


Fig. 2.

4. Concluding Remarks and Outlook

The thesis first briefly introduced the theory foundation of GA and its technology that it has now. Then it made a simple explanation about the application prospect and methods of GA in Intelligence De-

sign in a form of general description. Thing that are worth to be thought of is that even though the set fort of Genetic Algorithms is in the view of evolution law of biological world, its simplicity makes it being not able to really simulate the complicated biological group. The GA nowadays still cannot fully show the highly self-adaptation of the biological evolution.

With the constant development of genetic algorithms, the study of individual structure and operation level that we now have is going to come to an end. But its later development has a tend of becoming more and more complex. To show individuals with a complex structure and to stimulate the evolution of species with a complex operation will gain genetic algorithms a greater self- adaptation and can better show its advantage in order to become real intelligent algorithms. With the content development of computer science, it will make a solid foundation for the future study of genetic algorithms.

REFERENCES

1. The Genetic algorithm elementary theory and application / LI Min Qiang, GUAN Ji Song, LIN Dan, LI Shu Quan // The Scientific Publishing House. 2004. March.
2. XUAN Guang Nan, CHENG Yun Wei. The Genetic algorithm and project optimization // The Tsinghua University publishing house. 2004. January.
3. The Genetic algorithm theory / CHEN Guo Liang, WANG XU Fa, ZHUANG Zhen Quan, WANG Dong Sheng. // The Xi'an Jiaotong University Publishing house. 2002. January.

Иванов С.С.

УДК 528:002.5:656.2

РЕГУЛЯТОР УСТОЙЧИВОСТИ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ

В настоящее время информатизация является одним из важнейших приоритетов развития всех современных технологических систем. Железнодорожный транспорт тому не исключение. В силу сложности организационной структуры железной дороги при внедрении той или иной автоматизированной системы немаловажным становится вопрос повышения эффективности ее внедрения и управления. На этом фоне идет бурное развитие аппарата анализа подобных технических проектов. Подходы разнятся и имеют свои плюсы и минусы.

Автором для оценки эффективности реализации проекта ранее было предложено использовать недоопределенные модели (Н – модели) [1,2]. Это было сделано на примере создания системы защиты тягового подвижного состава (ТПС) с использованием средств современной связи и спутниковых навигационных возможностей [1,2]. В данной статье изложены некоторые новые решения в условиях неопределенности проектных расчетов. Для этого проект рассмотрен с точки зрения методов теории систем и системного анализа.

Системный анализ как самостоятельная научная дисциплина предоставляет собой инструментарий, называемый системной парадигмой, без применения которой, исследование любой проблемы усложняется многократно. Эта парадигма является наиболее надежной концептуальной основой современного менеджмента. Сегодня теория систем, как и системный анализ - дисциплины, которые претендуют на роль “скелета науки”.

Системой будем называть множество взаимосвязанных объектов, ресурсов и связей между ними, выделенных из среды на определённое время с определённой целью, организованных процессом системогенеза в единое целое.

В мире существует огромное количество систем, классифицируемых по разным признакам и свойствам. Так по рангу они делятся на: надсистемы, системы и подсистемы.

При этом надсистемой называется совокупность систем высшего ранга, частью которой является рассматриваемая. А подсистемой - часть системы, способная выполнять относительно независимые функции, имеющая подцели, направленные на достижение общей цели.

Из всего многообразия систем нас интересуют только организационно – технические системы, представляющие собой технические проекты,

подлежащие внедрению на транспорте или в компаниях, которые технологически связанны с ним.

Любая система, удовлетворяющая вышеуказанному определению, обладает рядом характерных свойств. Отметим часть из них:

Мультипликативность - и позитивные, и негативные эффекты функционирования компонентов в системе обладают свойством умножения, а не сложения.

Эмерджентность - цели компонентов системы не всегда совпадают с целями (функциями) системы.

Целостность - первичность целого по отношению к частям.

Иерархичность - каждый компонент системы может рассматриваться как система (подсистема) более широкой глобальной системы.

Структурность - возможность композиционных переформирований системы на самостоятельные компоненты с установлением связей между ними.

Коммуникативность – существование сложной системы коммуникаций со средой в виде иерархии.

Адаптивность — стремление к состоянию устойчивого равновесия, которое предполагает адаптацию параметров системы к изменяющимся параметрам внешней среды (однако «неустойчивость» не во всех случаях является дисфункциональной для системы, она может выступать и в качестве условия динамического развития).

Надёжность - функционирование системы при выходе из строя одной из её компонент, при сохранении проектных значений параметров системы в течение запланированного периода.

Для всех систем существует четкий приоритет интересов надсистемы перед интересами ее компонентов.

Ценность системного подхода состоит в том, что рассмотрение категорий системного анализа создает основу для логического и последовательного подхода к проблеме принятия решений. Эффективность решения проблем с помощью системного анализа определяется структурой решаемых проблем.

Современные математические и компьютерные модели, безусловно, играют важную роль в разработке систем, но они ограничены возможностями традиционного математического аппарата, лежащего в их основе, и далеко не во всем адекватного природе вновь создаваемого проекта. Особенно очевидным недостатком этого аппарата является трудности моделирования в условиях недоопределенных (промежуточных между полной определенностью и полной неизвестностью) сведений о рассматриваемой задаче.

К важнейшим источникам недоопределенности при разработке проектов относятся: невозможность абсолютного прогноза будущей производственной ситуации, неполноту и противоречивость некоторых данных, множественность неточных проектных решений, разноголосицу экспертных суждений и т.д. Наличие существенного фактора недоопределенности предопределила наш выбор и использование методов и технологии Н-моделей, которая базируется на использовании интервальной математики.

Интервальное исчисление и Н-моделирование как математические дисциплины формируется уже многие годы [3,7]. Предметом их исследований является решение задач с интервальными (или, более общо, ограниченными) неопределённостями и неоднозначностями в данных, возникающими в постановке задачи или на промежуточных стадиях процесса решения.

Существенный вклад в развитие интервального анализа и недоопределенных вычислений внесли академики Сибирского отделения академии наук Л.В.Канторович, Н.Н.Яненко и Ю.И.Шокин, а также ученые А.С.Нариньяни, С.П.Шарый, С.Б.Добронец и другие. Теоретические и практические результаты этих достижений опубликованы в огромном количестве статей, докладов и монографий в России и за рубежом. Сегодня их идеи являются весьма конструктивными и полезными в прикладном аспекте.

Главное отличие нового подхода заключается в том, что система выдает не один вариант решения, как это случается в традиционных компьютерных расчетах, а формирует целую область возможных решений. В результате при использовании интервальных параметров в качестве исходных данных образуется зона воздействия на поведение системы. Создавая тем самым область, для регулирования поведения системы с целью повышения или понижения ее устойчивости.

В самом общем виде постановка математической задачи Н-моделей сформулируется следующим образом. Переменным $x_1, x_2 ..., x_n$, областями значений которых являются множества X_1 , X_2 , ..., X_n , заданы ограничения C_i $(x_1 , x_2 , ..., x_n)$, $i = 1, .. , k$. Требуется найти такие наборы значений $<a_1 , a_2 , ..., a_n>$ $(a_i \in X_i)$, которые бы удовлетворяли всем ограничениям одновременно.

Задача и модель представлены в этом случае как неупорядоченная совокупность отношений, которые соответствуют связям, существующим между переменными. Эти отношения могут иметь

вид уравнений, неравенств, логических выражений и т. п., принимая в случае необходимости, очень сложную форму.

Результаты нашего расчета системы [2] представлены в виде одного моно показателя - удельных затрат на единицу ТПС. Но это не единственная возможность системы. Аналогичным образом можно рассчитать другие показатели системы. Например, определить общую стоимость проекта в целом, по этапам, периодам, бюджетным статьям, исполнителям и т. д. Все они могут быть визуализированы.

Такой подход дает возможность получить большое количество приемов для управления проектом, важнейшим из которых является - **регулятор устойчивости**.

Однако использование классического математического аппарата устойчивости дифференциального исчисления уместно не везде. Устойчивость процессов, как правило, описывают - вербально. В лучшем случае, в исследованиях об устойчивости используются коэффициенты или индексы, рассчитываемые традиционными математическими методами.

В связи с этим **Регулятором устойчивости** назовем коридор или область решений, которая образуется при введении в расчеты интервала исходных данных, или когда происходит сбой в выполнении производственной операции. При котором на сбалансированном календарном графике, без резерва времени, происходит цепная реакция изменений работ и их оценок, образуя тем самым целую область возможных результатов. Кроме того, совместная обработка точных и недоопределенных данных, тоже может порождать области регулирования, независимо от того каковы они по своей сути: технические или финансовые. В процессе расчетов данные в системе сами могут искусственно доопределяться (уточняться), сужая и последовательно отсекая область возможных решений. Такие регуляторы могут формироваться на любом этапе расчетов.

Представим два варианта систем (рис. 1, рис. 2) с различными схемами регулирования устойчивости. На рис.1 графически показаны результаты расчетов системы [2] с использованием интервальных исходных данных в виде простой линейной зависимости удельных затрат (ось ординат) на единицу ТПС от количества модернизированных единиц (ось абсцисс). График показывает небольшой рост увеличение удельных затрат (от 1,00 до 1,04) в ходе модернизации ТПС.

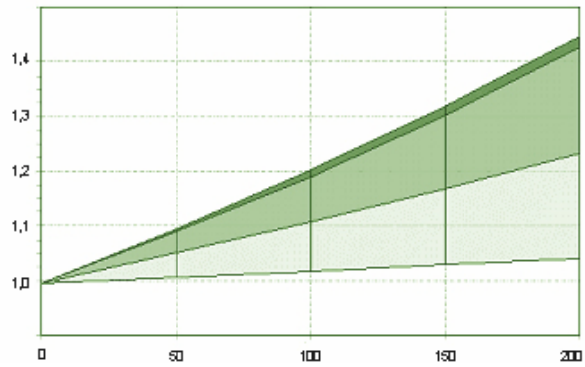


Рис. 1.

Следующая линия (1,00; 1,45) прогнозирует работу системы в результате некоторого сбоя в начале запуска системы. В том числе, отсутствие финансирования, ошибки в техдокументации, неготовность штатного персонала и инфраструктуры связи. В итоге, затраты на переоборудование единицы ТПС со временем возрастают до величины 1,45 от первоначального объема. В результате образуется коридор решений со значениями удельных величин - (1,00; 1,45; 1,04). Это следует понимать как зону принятия решений для возврата системы в прежнее, заданное состояние, т.е. область регулирования устойчивости.

Если не предпринимать никаких мер, то прогноз, в конечном итоге, подтвердится. Бюджет будет нарушен, сроки ввода сорваны, а эффективность от внедрения проекта существенно снизится.

Проведем по шаговый расчет с целью определения влияния некоторых организационных факторов на изменение ситуации. Для этого можно снизить закупочную стоимость некоторых комплектующих изделий (найти более дешевые поставки), расширить фронт строительно-монтажных работ при создании инфраструктуры связи, а также сократить сроки выполнения ряда операций (повысить производительность работ). После проведения расчетов получим новые коридоры решений по каждому из этих мероприятий.

На графике представлены: светло, средне и сильно окрашенные области. Прогноз изменения показателей следующий. Наиболее узкая и сильно окрашенная область является коридором решений (1,0; 1,45; 1,42), полученным от регулирования при снижении закупочных цен. Средне окрашенная область (1,0; 1,42; 1,22) – результат расширения фронта работ, с подключением дополнительных ресурсов. Светлая область коридора решений (1,0; 1,22; 1,04) получена, в результате регулирования от сокращения сроков выполнения работ и повышения производительности труда.

Таким образом, в конечном итоге таким путем можно повысить эффективность проекта и

вновь довести удельные затраты на единицу ТПС до 1,04.

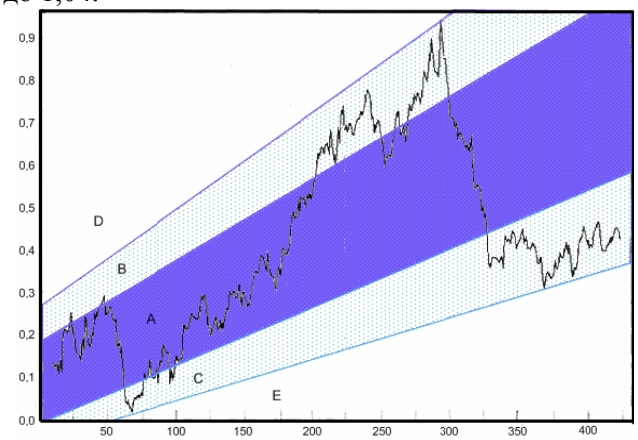


Рис. 2.

На рис. 2 графически изображен другой тип регулятора устойчивости системы с основной зоной регулирования (обл. - А) и заданными дополнительными ограничениями (обл. - В и С). Последние - формируются надсистемой. Такие ограничения могут носить директивный характер, отражать определенную закономерность или директивные требованиями вышестоящей системы (гиперонимы). В данном случае они представляют собой линейные функции, имеют верхнюю и нижнюю границы. Их функциональное предназначение может быть любое, наиболее характерное – «границы критических ограничений», «кризисные затраты» и т.д. График на рис. 2 наглядно показывает движение валютной составляющей в проектных затратах. Функция валютной составляющей представлена в виде множества значений, соединенных единичными ортами во времени и модернизируемой численностью ТПС.

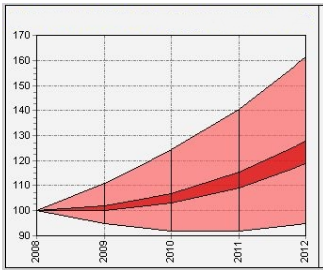


Рис. 3.

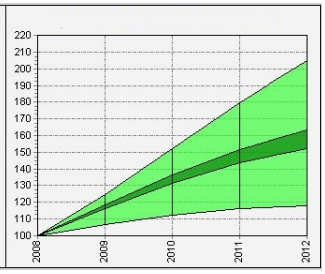


Рис. 4.

Расчет удельных затрат это не единственная возможность системы. Использовать регулятор устойчивости можно по-разному. Например, если на графике (рис. 3 и рис. 4) выделить в зоне регулирования определенную полосу или линию и решить обратную задачу. То можно найти необходимые интервалы исходных данных для обеспечения заданной устойчивости системы и обеспечить необходимые оргтехмероприятия для исходных реалий. На графиках приведены удельные затраты на единицу ТПС по годам на пятилетний период. В целом такой подход к регулированию дает возможность разработать большое количество приемов для управления проектом, как в статике, так и в динамике его исполнения.

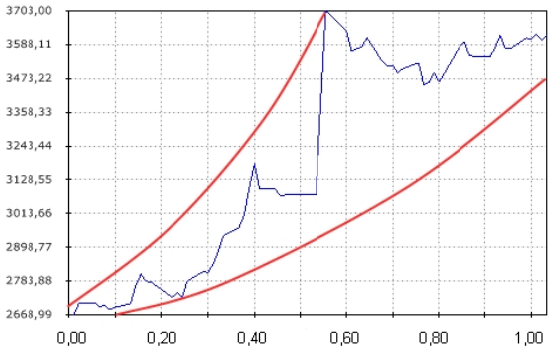


Рис. 5.

Введем некоторые дополнительные определения в системе регулирования устойчивости.

Шаг слежения - временной период в течение, которого предполагается фиксировать изменения в системе. На рис. 5 по оси абсцисс он равен – 0,1; а по оси ординат – 114,89. Функциональные названия зависят от содержания графиков.

Зона решений - область, заключенная между двумя границами устойчивости.

Траектория системы - движение расчетного показателя в интервальной системе в системе координат. Траектория может быть прогнозируемой и фактической.

Граница устойчивости – линии, определяющие траекторию движения системы.

Границы могут быть заданными или расчетными, а также прямыми или кривыми линиями (рис. 5).

Градиент направления устойчивости – единичный орт, определяющий динамику устойчивости. Он может быть как положительным, так и отрицательным. На рис. 6 положительные градиенты устойчивости обозначены – (A; C; E; G; I), отрицательные – (B; D; F; H; J).

Суммарный градиент устойчивости - единичный орт, объединяющий несколько целых шагов слежения или их частей – (A; C; E; D).

Смена знака градиента - (+ на -) означает вершину устойчивости; а (- на +) дно падения устойчивости.

Кризисная точка – пересечение фактической кривой или единичным ортом границы устойчивости.

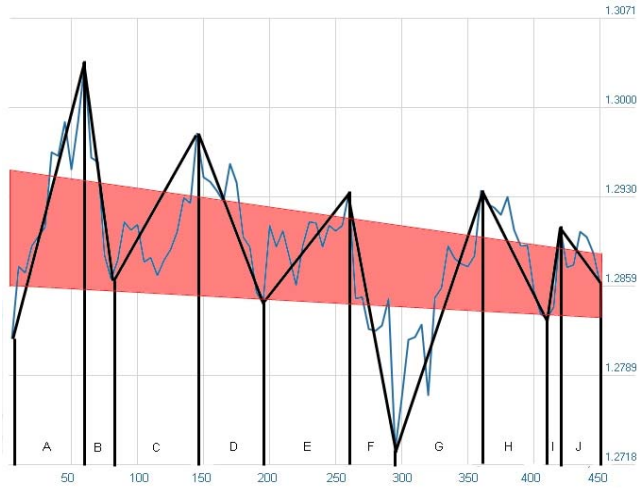


Рис. 6.

Вновь введенные понятия и их графическая интерпретация составляют основу методики анализа устойчивости организационно – технических систем и процесса внедрения проектов. Основная часть ее продемонстрирована нами на примере создания системы защиты тягового подвижного состава (ТПС) с использованием средств современной связи и спутниковых навигационных возможностей [1].

В итоге мы приходим к выводу о том, что методика анализа устойчивости систем позволяет в статике и в динамике рассмотреть:

- множество вариантов создания проекта в разной области значения показателей;
- задать желаемое значение для расчета любого показателя модели;
- определить границу значений показателей, выход за которые исключает достижение заданного результата;
- адекватно оценить различные факторы риска и недоопределенностей, заданного проекта;
- определить возможность влияния на показатели проекта любых дополнительных условий, выраженных как в форме числовых данных, так и в форме уравнений и неравенств.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Иванов С. С. Об оценке инвестиционного проекта защиты тягового подвижного состава методами Н-моделей // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. Спецвыпуск. Иркутск. 2008. С. 236–243.
2. Иванов С. С. Об оценке инвестиционного проекта методами Н-моделей // Высокие технологии, фундаментальные и прикладные исследования, промышленность. Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности : сб. тр. Шестой междунар. науч.-практ. конф. СПб., 2008. С. 68–69.
3. Нариньяни А. С. Недоопределенные модели и операции с недоопределенными значениями : препринт / АН СССР. Сиб. отд-ние ВЦ. Новосибирск, 1982. № 400.
4. Дмитриев В. Е. UniCalc - интеллектуальный решатель систем алгебраических уравнений и неравенств // Искусственный интеллект-90 : тр.12 Всесоюз. конф. Минск, 1990. С. 97–101.
5. «Технология решения задач в объектно-ориентированной среде НеМо+» / А. А. Кузнецов, В. А. Сидоров, В. В. Телерман, Д. М. Ушаков // Искусственный интеллект – 96 : Пятая национал. конф. с междунар. участием : сб. науч. тр. : в 3 т. Казань, 1996. Т. 3. С. 109–111.
6. Telerman V., Sidorov V., Ushakov D. Object-Oriented Constraint Programming Environment NeMo+ and its Applications : Accepted to 9th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI'97), November 4-7. California, USA : Newport Beach., 1997.
7. Напреенко В. Г., Нариньяни А. С., Юртаев А. В. Недоопределенные модели – нетрадиционный подход к математическим исследованиям экономики // Информационные технологии. 1999. № 4. С. 36–41.
8. Напреенко В. Г., Нариньяни А. С. Моделирование национальной экономики с использованием аппарата недоопределенных моделей // Проблемы управления и моделирования в сложных системах : тр. II Междунар. конф. / Самарский научный центр РАН. Самара, 2000. С. 212–215.

Ешенко А.А. УДК 62.53

СИНТЕЗ ДВУМЕРНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ВЫРАБОТКИ ЛИСТОВОГО СТЕКЛА

Производительность установок и качество листового стекла, вырабатываемого машинами вертикального вытягивания, зависят от устойчивости температурного режима и скорости вытягивания.

Машина вертикального вытягивания в динамическом отношении представляет собой двумерный, двусвязный объект управления, основные параметры которого, в частности, толщина ленты и температура, регулируются связанно по прямоугольному типу одним управляющим устройством. При настройке регулятора системы вынужденно не учитываются действия присущих данному процессу перекрестных внутренних связей из-за отставания в создании математических моделей динамики процесса.

На основе анализа движения стекломассы, теплообмена в подмашинной камере, шахте и холодильниках аналитическим методом получены математические модели процесса вытягивания ленты стекла [1, 2, 3].

Структурно преобразованная модель системы управления процессом [1] представлена на рис.1.

На модели входные и выходные величины приведены в безразмерном виде: $\overline{\theta}, \overline{\theta}_Л, \overline{\theta}_x$ - соответственно – изображения температуры ленты на выходе из шахты машины, подмашинной камеры и температуры воды на входе в холодильник; $\overline{\delta}$, $\overline{G}, \overline{\omega}$ - соответственно толщина ленты стекла, расход воды и скорость вытягивания. Модель характеризуется несколькими каналами передачи воздействий, внутренними перекрестными связями между ними и может быть использована при построении системы автоматического управления с учетом естественных связей между контурами.

Синтез автоматических управляющих устройств системы из-за особенностей, вносимых неоднотипностью, неидентичностью, несимметричностью контуров и перекрестных связей, не может базироваться в полной мере на известных методиках.

Предполагается синтезировать автоматические управляющие устройства, используя принцип многоканальности. Рассмотрены структурные схемы систем, реализующие принцип двухканальности, для достижения инвариантности регулируемых величин и автономности контуров с различным включением компенсирующих перекрестных связей.

На рис.1. представлена структурная схема системы, соответствующая сепаратному регулированию.

Система уравнений динамики имеет вид

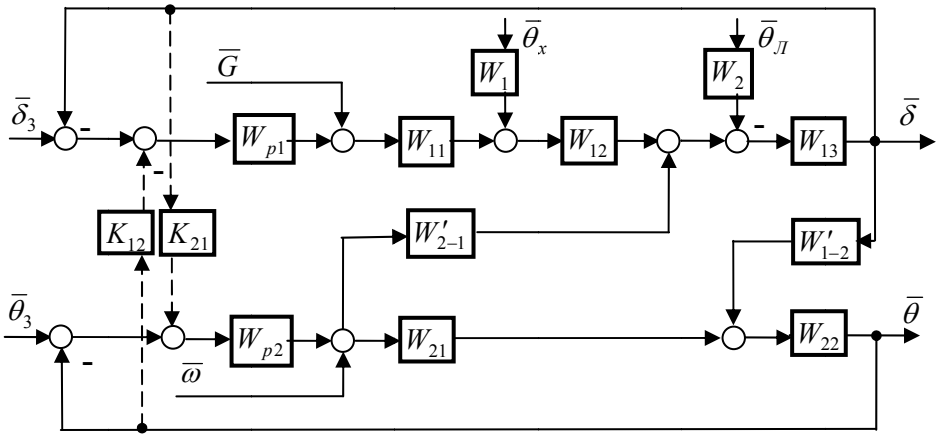


Рис. 1. Структурная схема сепаратной системы

$$\left.\begin{aligned}&\bar{\delta}=W_{13}\{W_{12}\left[W_1\bar{\theta}_x+W_{11}\left[\bar{G}+W_{p1}\left(\bar{\delta}_3-\bar{\delta}\right)\right]\right]-\\&-W_2\bar{\theta}_Л\}+W'_{2-1}\left[\varpi+W_{p2}\left(\bar{\theta}_3-\bar{\theta}\right)\right]\ ;\\&\bar{\theta}=W_{22}\left[W'_{1-2}\bar{\delta}+W_{21}\left[\varpi+W_{p2}\left(\bar{\theta}_3-\bar{\theta}\right)\right]\right]\ .\end{aligned}\right\}\quad(1)$$

Представляем систему (1) в форме

$$\left.\begin{aligned}&Y_{11}\bar{\delta}+Y_{12}\bar{\theta}=Y_{1G}\bar{G}+Y_{1\omega}\varpi+Y_{1\delta}\bar{\delta}_3+\\&+Y_{1\theta}\bar{\theta}_3+Y_{1x}\bar{\theta}_x+Y_{1Л}\bar{\theta}_Л;\\&Y_{21}\bar{\delta}+Y_{22}\bar{\theta}=Y_{2G}\bar{G}+Y_{2\omega}\varpi+Y_{2\delta}\bar{\delta}_3+\\&+Y_{2\theta}\bar{\theta}_3+Y_{2x}\bar{\theta}_x+Y_{2Л}\theta_Л,\end{aligned}\right\}\quad(2)$$

где

$Y_{11}=1+W_{13}W_{12}W_{11}W_{p1}$; $Y_{12}=W'_{2-1}W_{p2}$;

$Y_{1G}=W_{12}W_{12}W_{11}$; $Y_{1\omega}=W'_{2-1}$; $Y_{1\delta}=W_{13}W_{12}W_{11}W_{p1}$;

$Y_{1\theta}=W'_{2-1}W_{p2}$; $Y_{1x}=W_{13}W_{12}W_1$; $Y_{1Л}=W_{13}$;

$Y_{21}=W_{22}W'_{1-2}$; $Y_{22}=1+W_{22}W_{21}W_{p2}$; $Y_{2\omega}=W_{22}W_{21}$;

$Y_{2\theta}=W_{22}W_{21}W_{p2}$; $Y_x=0$; $Y_Л=0$.

Запишем основную матрицу системы (2) –

$$\begin{Vmatrix}1+W_{13}W_{12}W_{11}W_{p1} & W'_{2-1}W_{p2}\\ -W_{22}W'_{1-2} & 1+W_{22}W_{21}W_{p2}\end{Vmatrix}.$$

Анализ уравнений (2) показывает, что условия автономности из диагональности матрицы системы и условия неабсолютной инвариантности $Y_{11}Y_{22}-Y_{21}Y_{12}\to\infty$, не могут быть реализованы в данной связанной системе при сепаратном регулировании объекта.

Рассмотрим систему, схема которой, с двумя измерительными связями на каждый регулятор приведена на рис.1. Пунктирами показаны компенсирующие связи с выхода контура на вход несобственного регулятора.

Запишем уравнение динамики системы

$$\left.\begin{aligned}&\bar{\delta}=W_{13}\Big\{-W_2\bar{\theta}_Л+W_{12}\Big[\Big[W_1\bar{\theta}_Л+W_{11}\Big[\bar{G}+W_{p1}\Big(\bar{\delta}_3-\bar{\delta}+\\&+K_{21}\bar{\theta}\Big)\Big]\Big]+W_{2-1}\Big[\varpi+W_{p2}\Big(\bar{\theta}_3-\bar{\theta}+K_{12}\delta\Big)\Big]\Big]\Big\}\ ;\\&\bar{\theta}=W_{22}\{W_{21}\Big[\varpi+W_{p2}\Big(\bar{\theta}_3-\bar{\theta}+K_{12}\bar{\delta}\Big)\Big]+W'_{1-2}W_{13}\Big[-W_2\bar{\theta}_Л+\\&+\Big[W_1\bar{\theta}_Л+W_{11}\Big[\bar{G}+W_{p1}\Big(\bar{\delta}_3-\bar{\delta}+K_{21}\bar{\theta}\Big)\Big]+\\&+W'_{2-1}\Big[\varpi+W_{p2}\Big(\bar{\theta}_3-\bar{\theta}+K_{12}\delta\Big)\Big]\Big]\}\ .\end{aligned}\right\}\quad(3)$$

Уравнение (3) приведем к виду (2). В этом случае:

$Y_{11}=1+W_{13}W_{12}W_{11}W_{p1}-W_{13}W'_{2-1}W_{p2}K_{12}$;

$Y_{12}=W_{13}W'_{2-1}W_{p2}-W_{13}W_{11}W_{12}W_{p2}W_{12}K_{21}$;

$Y_{1G}=W_{12}W_{12}W_{11}$; $Y_{1\omega}=W'_{2-1}W_{13}$; $Y_{1Л}=W_{13}W_2$;

$Y_{1x}=W_{13}W_{12}W_1$; $Y_{1\delta}=W_{13}W_{12}W_{11}W_{p1}$; $Y_{1\theta}=W_{13}W'_{2-1}W_{p2}$;

$Y_{21}=W_{22}W_{1-2}W_{13}W_{12}W_{11}W_{p1}-W_{22}W_{21}W_{p2}K_{12}-$
$-W_{22}W'_{1-2}W_{13}W'_{2-1}W_{p2}K_{12}$;

$Y_{22}=1+W_{22}W_{21}W_{p2}-W_{22}W'_{1-2}W_{13}W_{12}W_{11}W_{p1}K_{21}+$
$+W_{22}W'_{1-2}W_{13}W'_{2-1}W_{p2}$; $Y_{2G}=W_{22}W'_{1-2}W_{13}W_{12}W_{11}$;

$Y_{2\omega}=W_{22}W_{21}+W_{22}W_{21}+W_{22}W'_{1-2}W_{2-1}W_{13}$; $Y_{2Л}=$
$=-W_{22}W'_{1-2}W_{13}W_2$; $Y_{2x}=W_{22}W'_{1-2}W_{13}W_{12}W_1$;

$Y_{2\delta}=W_{22}W'_{1-2}W_{13}W_{12}W_{11}W_{p1}$; $Y_{2\theta}=W_{22}W_{21}W_{p2}+$
$+W_{22}W'_{1-2}W_{13}W_{p2}$.

Для каждой из основных переменных $\bar{\delta}$ и $\bar{\theta}$ запишем уравнения:

$$\bar{\delta}=\frac{\begin{vmatrix}Y_{1G}Y_{12}\\Y_{2G}Y_{22}\end{vmatrix}}{\begin{vmatrix}Y_{11}Y_{12}\\Y_{21}Y_{22}\end{vmatrix}}\bar{G}+\frac{\begin{vmatrix}Y_{1\omega}Y_{12}\\Y_{2\omega}Y_{22}\end{vmatrix}}{\begin{vmatrix}Y_{11}Y_{12}\\Y_{21}Y_{22}\end{vmatrix}}\bar{\omega}+\frac{\begin{vmatrix}Y_{1\delta}Y_{12}\\Y_{2\delta}Y_{22}\end{vmatrix}}{\begin{vmatrix}Y_{11}Y_{12}\\Y_{21}Y_{22}\end{vmatrix}}\bar{\delta}_3+\frac{\begin{vmatrix}Y_{1\theta}Y_{12}\\Y_{2\theta}Y_{22}\end{vmatrix}}{\begin{vmatrix}Y_{11}Y_{12}\\Y_{21}Y_{22}\end{vmatrix}}\bar{\theta}_3+$$

$$+\frac{\begin{vmatrix}Y_{1Л}Y_{12}\\Y_{2Л}Y_{22}\end{vmatrix}}{\begin{vmatrix}Y_{11}Y_{12}\\Y_{21}Y_{22}\end{vmatrix}}\bar{\theta}_Л+\frac{\begin{vmatrix}Y_{1x}Y_{12}\\Y_{2x}Y_{22}\end{vmatrix}}{\begin{vmatrix}Y_{11}Y_{12}\\Y_{21}Y_{22}\end{vmatrix}}\bar{\theta}_x=\frac{\beta_{11}(\rho)}{\alpha(\rho)}+\frac{\beta_{12}(\rho)}{\alpha(\rho)}\varpi+\qquad(4)$$

$$+\frac{\beta_{13}(\rho)}{\alpha(\rho)}\bar{\delta}_3+\frac{\beta_{14}(\rho)}{\alpha(\rho)}\bar{\theta}_3+\frac{\beta_{15}(\rho)}{\alpha(\rho)}\bar{\theta}_Л+\frac{\beta_{16}(\rho)}{\alpha(\rho)}\bar{\theta}_x.$$

$$\bar{\theta}=\frac{\begin{vmatrix}Y_{11}Y_{1G}\\Y_{21}Y_{2G}\end{vmatrix}}{\begin{vmatrix}Y_{11}Y_{12}\\Y_{21}Y_{22}\end{vmatrix}}\bar{G}+\frac{\begin{vmatrix}Y_{11}Y_{1\omega}\\Y_{21}Y_{2\omega}\end{vmatrix}}{\begin{vmatrix}Y_{11}Y_{12}\\Y_{21}Y_{22}\end{vmatrix}}\bar{\omega}+\frac{\begin{vmatrix}Y_{11}Y_{1\delta}\\Y_{21}Y_{2\delta}\end{vmatrix}}{\begin{vmatrix}Y_{11}Y_{12}\\Y_{21}Y_{22}\end{vmatrix}}\bar{\delta}_3+\frac{\begin{vmatrix}Y_{11}Y_{1\theta}\\Y_{21}Y_{2\theta}\end{vmatrix}}{\begin{vmatrix}Y_{11}Y_{12}\\Y_{21}Y_{22}\end{vmatrix}}\bar{\theta}_3+$$

$$+\frac{\begin{vmatrix}Y_{11}Y_{1Л}\\Y_{21}Y_{2Л}\end{vmatrix}}{\begin{vmatrix}Y_{11}Y_{12}\\Y_{21}Y_{22}\end{vmatrix}}\bar{\theta}_Л+\frac{\begin{vmatrix}Y_{11}Y_{1x}\\Y_{21}Y_{2x}\end{vmatrix}}{\begin{vmatrix}Y_{11}Y_{12}\\Y_{21}Y_{22}\end{vmatrix}}\bar{\theta}_x=\frac{\beta_{21}(\rho)}{\alpha(\rho)}+\frac{\beta_{22}(\rho)}{\alpha(\rho)}\varpi+\qquad(5)$$

$$+\frac{\beta_{23}(\rho)}{\alpha(\rho)}\bar{\delta}_3+\frac{\beta_{24}(\rho)}{\alpha(\rho)}\bar{\theta}_3+\frac{\beta_{25}(\rho)}{\alpha(\rho)}\bar{\theta}_Л+\frac{\beta_{26}(\rho)}{\alpha(\rho)}\bar{\theta}_x.$$

Условия неабсолютной инвариантности имеет вид

$$\frac{1}{\alpha(\rho)}\to 0;\ \frac{1}{\begin{vmatrix}Y_{11}Y_{12}\\Y_{21}Y_{22}\end{vmatrix}}\to 0\ \text{ или }\ (Y_{11}Y_{22}-Y_{21}Y_{12})\to\infty.$$

Условия абсолютной инвариантности обеспечиваются устранением ошибки в системе. Возмущения $\bar{\theta}_Л$ и $\bar{\theta}_x$ не будут влиять на переменные $\bar{\delta}$ и $\bar{\theta}$, если

$$\beta_{15(\rho)}=\begin{vmatrix}Y_{1Л}Y_{12}\\Y_{2Л}Y_{22}\end{vmatrix}=Y_{1Л}Y_{22}-Y_{2Л}Y_{12}=0;$$

$$\beta_{25(\rho)}=\begin{vmatrix}Y_{11}Y_{1Л}\\Y_{21}Y_{2Л}\end{vmatrix}=Y_{11}Y_{2Л}-Y_{21}Y_{1Л}=0;$$

$$\beta_{16(\rho)} = \begin{vmatrix} Y_{1x}Y_{12} \\ Y_{2x}Y_{22} \end{vmatrix} = Y_{1x}Y_{22} - Y_{2x}Y_{12} = 0;$$

$$\beta_{26(\rho)} = \begin{vmatrix} Y_{11}Y_{1x} \\ Y_{21}Y_{2x} \end{vmatrix} = Y_{11}Y_{2x} - Y_{21}Y_{1x} = 0.$$

Изменение заданий $\overline{\theta}_3$ и $\overline{\delta}_3$ не влияют на величину $\overline{\delta}$ и $\overline{\theta}$, если:

$$\beta_{14(\rho)} = \begin{vmatrix} Y_{1\theta}Y_{12} \\ Y_{2\theta}Y_{22} \end{vmatrix} = Y_{1\theta}Y_{22} - Y_{2\theta}Y_{12} = 0;$$

$$\beta_{23(\rho)} = \begin{vmatrix} Y_{11}Y_{1\delta} \\ Y_{21}Y_{2\delta} \end{vmatrix} = Y_{11}Y_{2\delta} - Y_{21}Y_{1\delta} = 0.$$

Условия автономности систем регулирования находятся из уравнений свободных колебаний всей системы в целом:

$$\left.\begin{aligned} Y_{11}\overline{\delta} + Y_{12}\overline{\theta} = 0; \\ Y_{21}\overline{\delta} + Y_{22}\overline{\theta} = 0. \end{aligned}\right\} \quad (6)$$

Очевидно, что для автономности систем регулирования толщины и температуры ленты стекла необходимо и достаточно, чтобы выполнились условия, вытекающие из диагональности матрицы (6):

$$\left.\begin{aligned} &Y_{12} = W_{13}W'_{2-1}W_{p2} - W_{13}W_{11}W_{12}W_{p2}K_{21} = 0; \\ &Y_{21} = W_{22}W'_{1-2}W_{13}W_{12}W_{11}W_{p1} - W_{22}W_{21}W_{p2}K_{12} - \\ &- W_{22}W'_{1-2}W_{13}W'_{2-1}W_{p2}K_{12} = 0. \end{aligned}\right\} (7)$$

При этом уравнения свободных колебаний будут уравнениями относительно одной переменной.

Коэффициенты измерительных жестких связей получаем из условий автономности (7):

$$K_{21} = \frac{W'_{2-1}}{W_{11}W_{12}}; \; K_{12} = \frac{W'_{2-1}W_{13}W_{12}W_{11}W_{p1}}{(W_{21} + W'_{1-2}W_{13}W'_{2-1})W_{p2}}. \quad (8)$$

Сравнивая условия инвариантности с условиями автономности $Y_{12} = 0$ и $Y_{21} = 0$ видим, что при их выполнении условия инвариантности уравнений (4) и (5) будут иметь вид:

$$Y_{1x}Y_{22} = 0; \; Y_{11}Y_{2x} = 0; \; Y_{1\theta}Y_{22} = 0; \; Y_{11}Y_{2\delta} = 0. \quad (9)$$

Анализ выражений (6), (7) и (9) показывает, что в случае схемы с двумя измерительными связями на каждый регулятор, условия автономного управления отличаются от условий инвариантности, составленных для всех возмущений, действующих на систему. Настройка связи K_{21} при этом не зависит от настроек основных регуляторов.

Руководствуясь правилами преобразования структурных схем, приведем связи объекта к прямым перекрестным. В схеме $W_{2-1} = W'_{2-1}W_{13}$; $W_{1-2} = W'_{1-2}W_{13}W_{22}$;

Рассмотрим структурную схему системы управления, в которой направление действия компенсирующих связей противоположно направлению действия основных регуляторов (рис. 2).

Уравнения динамических элементов системы (рис.2)

$$\left.\begin{aligned} &\overline{\delta} = W_{13}\left\{-W_2\overline{\theta}_Л + W_{12}\left[W_1\overline{\theta}_x + W_{11}\left(\overline{G} + X_{p1}\right)\right]\right\} + \\ &+ W_{2-1}W_{21}\left(\overline{\omega} + X_{p2}\right); \\ &X_{p1} = W_{p1}\left[\overline{\delta}_3 - \overline{\delta} + K_{21}\left(X_{p2} + \overline{\omega}\right)\right]; \\ &X_{p2} = W_{p2}\left[\overline{\theta}_3 - \overline{\theta} + K_{12}\left(X_{p1} + \overline{G}\right)\right]; \\ &\overline{\theta} = W_{22}W_{21}\left(\overline{\omega} + X_{p2}\right) + \\ &+ W_{1-2}\left\{-W_2\overline{\theta}_Л + W_{12}\left[W_1\overline{\theta}_x + W_{11}\left(\overline{G} + X_{p1}\right)\right]\right\}. \end{aligned}\right\} (10)$$

Преобразуем систему уравнений (10) и представим ее в виде (2).

Основная матрица этой системы имеет вид

$$\begin{Vmatrix} 1 - W_{p1}W_{p2}K_{12}K_{21} + W_{13}W_{12}W_{11}W_{p1} + W_{2-1}W_{p1}W_{p2}K_{12} & W_{13}W_{12}W_{11}W_{p1}W_{p2}K_{21} + W_{2-1}W_{22}W_{p2} \\ W_{22}W_{21}W_{p1}W_{p2}K_{12} + W_{1-2}W_{12}W_{11}W_{p1} & 1 - W_{p1}W_{p2}K_{12}K_{21} + W_{22}W_{21}W_{p2} + W_{1-2}W_{12}W_{11}W_{p1}W_{p2}K_{21} \end{Vmatrix}.$$

Запишем условия автономности системы, полученные из условия диагональности матрицы системы.

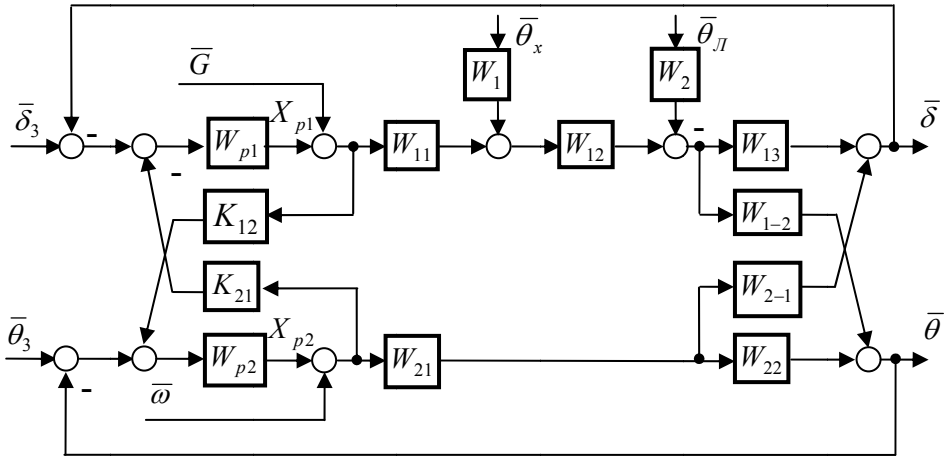


Рис. 2. Структурная схема многосвязной системы с компенсационными связями встречно действию основных регуляторов

$$\left.\begin{aligned} &W_{13}W_{12}W_{11}W_{p1}W_{p2}K_{21}+W_{2-1}W_{22}W_{p2}=0,\\ &W_{22}W_{21}W_{p1}W_{p2}K_{12}+W_{1-2}W_{12}W_{11}W_{p1}=0.\end{aligned}\right\} \quad (11)$$

Подстановкой выражений (11) в (10) получаем уравнение динамики автономных систем с сепаратным регулированием.

$$\left.\begin{aligned} &\left(1+W_{13}W_{12}W_{11}W_{p1}\right)\bar{\delta}=W_{13}W_{12}W_{11}\bar{G};\\ &\left(1+W_{22}W_{21}W_{p2}\right)\bar{\theta}=W_{21}W_{22}\bar{\omega}.\end{aligned}\right\} \quad (12)$$

Из сравнения уравнений (9) и (12) видно, что применение принципа автономности и инвариантности позволяет сложную многосвязную систему уравнений (10) в динамическом отношении расчленить на две простые сепаратные системы (12).

Уравнения (12) могут использоваться как основа для синтеза управляющих устройств известными методами.

Передаточные функции компенсирующих связей можно найти из выражений

$$K_{21}=\frac{W_{2-1}W_{22}}{W_{13}W_{12}W_{11}W_{p1}};\ K_{12}=\frac{W_{2-1}W_{12}W_{11}}{W_{22}W_{21}W_{p2}}. \quad (13)$$

Анализ выражений (13) показывает, что компенсирующие связи в данной схеме зависят от настроек основных регуляторов.

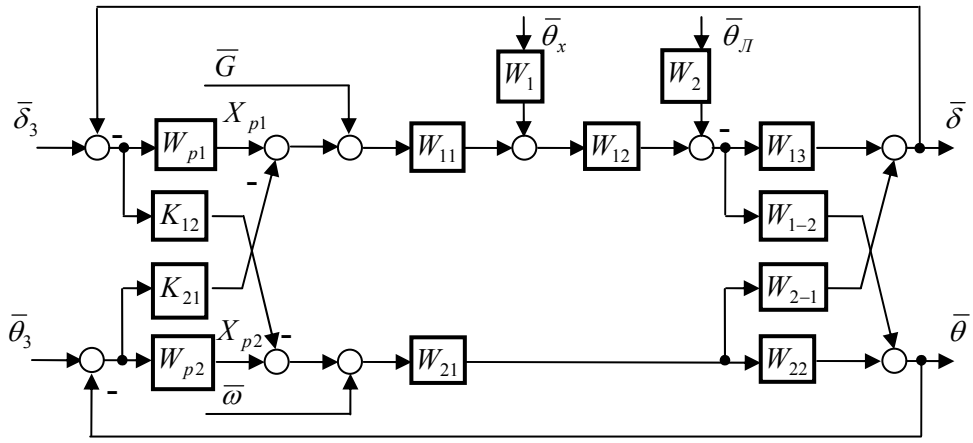
Найдем условия автономности и инвариантности для структурной схемы системы управления, в которой направление действия компенсирующих связей согласно действию основных регуляторов (рис. 3)

Запишем уравнение динамики для структурной схемы (рис. 3,а) в которой компенсирующее перекрестие связи исходят из узлов рассогласования на выходе чувствительного элемента.

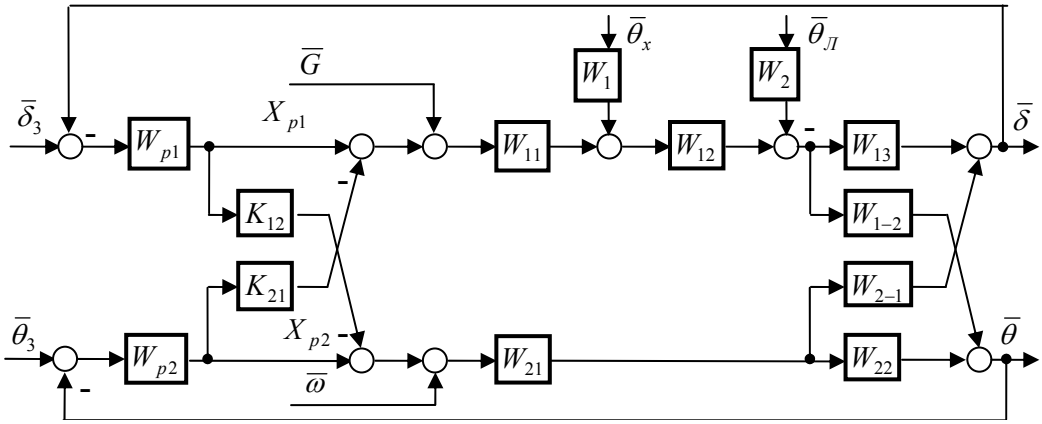
$$\left.\begin{aligned} &\bar{\delta}=W_{13}\left\{-W_2\bar{\theta}_Л+W_{12}\left[W_1\bar{\theta}_x+W_{11}\left[\bar{G}+W_{p1}(\delta_3-\delta)-K_{21}(\bar{\theta}_3-\theta)\right]\right]\right\}+\\ &+W_{2-1}W_{21}\left[\bar{\omega}+W_{p2}(\bar{\theta}_3-\theta)-K_{21}(\bar{\theta}_3-\theta)\right];\\ &\bar{\theta}=W_{22}\cdot W_{21}\left[\bar{\omega}+W_{p2}(\bar{\theta}_3-\bar{\theta})-K_{12}(\bar{\delta}_3-\bar{\delta})\right]+\\ &+W_{1-2}\left\{-W_2\bar{\theta}_л+W_{12}\left[W_{11}\theta_x+W_{11}\left[\bar{G}+W_{p1}(\delta_3-\bar{\delta})-K_{21}(\bar{\theta}_3-\bar{\theta})\right]\right]\right\}.\end{aligned}\right\} \quad (14)$$

Основная матрица этой системы имеет вид

$$\begin{Vmatrix} 1+W_{13}W_{12}W_{11}W_{p1}-W_{21}W_{2-1}K_{12} & W_{13}W_{12}W_{11}K_{21}-W_{21}W_{2-1}W_{p2}\\ -W_{22}W_{21}K_{12}+W_{1-2}W_{12}W_{11}W_{p1} & 1+W_{22}W_{21}W_{p2}-W_{12}W_{1-2}W_{11}K_{21}W_{p2}\end{Vmatrix}, \quad (15)$$



а)



б)

Рис. 3. Структурная схема многосвязной системы с компенсационными связями согласно действию основных регуляторов

а условия автономности –

$$\left.\begin{aligned} &W_{13}W_{12}W_{11}K_{21} - W_{21}W_{2-1}W_{p2} = 0. \\ &-W_{22}W_{21}K_{12}W_{p1} + W_{1-2}W_{12}W_{11}W_{p1} = 0. \end{aligned}\right\} \quad (16)$$

Подставляя выражения (15) в (14), получим уравнение динамики сепаратных систем:

$$\begin{aligned} &(1 + W_{13}W_{12}W_{11}W_{p1} - W_{21}W_{2-1}K_{12})\overline{\delta} = W_{13}W_{12}W_{11}\overline{G}; \\ &(1 + W_{22}W_{21}W_{p2} - W_{12}W_{1-2}W_{11}K_{21}W_{p2})\overline{\theta} = W_{22}W_{21}\overline{\omega}. \end{aligned} \quad (17)$$

Передаточные коэффициенты компенсирующих связей определяем из соотношений

$$K_{21} = \frac{W_{21}W_{2-1}W_{p2}}{W_{13}W_{12}W_{11}}; \; K_{12} = \frac{W_{1-2}W_{12}W_{11}W_{p1}}{W_{22}W_{21}}.$$

Параметры настройки компенсирующих связей в этой системе зависят от структуры настроек основных регуляторов.

В структурной схеме (рис. 3,б) компенсирующие сигналы связей регуляторов подаются на выходы противоположных регуляторов с выходов основных.

Запишем уравнения динамики для этой модели:

$$\left.\begin{aligned} &\overline{\delta} = W_{13}\Big\{-W_2\overline{\theta}_Л + W_{12}\Big[W_1\overline{\theta}_x + W_{11}\Big[\overline{G} + \\ &\quad + W_{p1}\left(\overline{\delta}_3 - \overline{\delta}\right) - K_{21}W_{p2}\left(\overline{\theta}_3 - \overline{\theta}\right)\Big]\Big]\Big\} + \\ &\quad + W_{2-1}W_{21}\left[\overline{\omega} + W_{p2}\left(\overline{\theta}_3 - \overline{\theta}\right) - K_{12}W_{p1}\left(\overline{\delta}_3 - \overline{\delta}\right)\right]; \\ &\overline{\theta} = W_{22}W_{21}\left[\overline{\omega} + W_{p2}\left(\overline{\theta}_3 - \theta\right) - K_{12}W_{p1}\left(\overline{\delta}_3 - \overline{\delta}\right)\right] + \\ &\quad + W_{1-2}\Big\{-W_2\overline{\theta}_Л + W_{12}\Big[W_1\overline{\theta}_x + W_{11}\Big[\overline{G} + \\ &\quad + W_{p1}\left(\overline{\delta}_3 - \overline{\delta}\right) - K_{21}W_{p2}\left(\overline{\theta}_3 - \overline{\theta}\right)\Big]\Big]\Big\}. \end{aligned}\right\} \quad (18)$$

Систему уравнений (18) представим в виде (2); основная матрица системы (собственный оператор) при этом примет вид

$$\left\|\begin{matrix} Y_{11} = 1 + W_{13}W_{12}W_{11}W_{p1} - W_{2-1}W_{21}K_{12}W_{p1} & Y_{21} = W_{1-2}W_{11}W_{p1} - W_{22}W_{21}K_{12}W_{p1} \\ Y_{12} = W_{2-1}W_{21}W_{p2} - W_{13}W_{12}K_{21}W_{p2} & Y_{22} = 1 + W_{22}W_{21}W_{p2} - W_{1-2}W_{12}K_{21}W_{p2} \end{matrix}\right\|. \quad (19)$$

Условие автономности системы, полученное из условия диагональности матрицы (19), запишем в форме

$$\left.\begin{aligned} &W_{1-2}W_{11}W_{p1} - W_{22}W_{21}K_{12}W_{p1} = 0; \\ &W_{2-1}W_{21}W_{p2} - W_{13}W_{12}W_{11}K_{21}W_{p2} = 0. \end{aligned}\right\} \quad (20)$$

Уравнение динамики сепаратных систем, полученные подстановкой (20) в (18), имеет вид

$$\left.\begin{aligned} &\left[1 - W_{p1}\left(W_{2-1}W_{21}K_{12} - W_{13}W_{12}W_{11}\right)\right]\overline{\delta} = W_{13}W_{12}W_{11}\overline{G}; \\ &\left[1 - W_{p2}\left(W_{1-2}W_{12}K_{21} - W_{22}W_{21}\right)\right]\overline{\theta} = W_{22}W_{21}\overline{\omega}. \end{aligned}\right\} \quad (21)$$

Передаточные функции компенсирующих связей относительно управляющих воздействий находим из выражений

$$K_{21} = \frac{W_{2-1}W_{21}}{W_{13}W_{12}}; \; K_{12} = \frac{W_{2-1}W_{11}}{W_{22}W_{21}}.$$

При реализации структур компенсирующих связей по рассмотренной схеме, настройки связей упрощаются и не зависят от параметров основных регуляторов.

Из рассмотрения полученных условий автономности и инвариантности структуры следует, что синтез связанной неоднородной системы управления процессом вертикального вытягивания может производиться при условии обеспечения автономности и инвариантности каналов регулирования с помощью компенсирующих связей в рассмотренных вариантах.

Передаточные функции компенсирующих связей относительно управляющих воздействий определяются из выражений:

- для структур с направлением действия компенсирующих связей противоположно действию основных регуляторов $K_{ij} = \dfrac{W_{эi-j}}{W_{эii}W_{pj}}$;

- для структур с направлением действия компенсирующих связей на входы соответствующих основных регуляторов согласно их действию

$$K_{ij} = \frac{W_{эi-j}W_{pi}}{W_{эjj}W_{pj}};$$

- для структур с подачей выходных сигналов связей на выходы соответствующих регуляторов

$$K_{ij} = \frac{W_{эi-j}}{W_{эii}}, \text{ где } i, j = 1,2; i \neq j.$$

Основой для синтеза системы различными схемами компенсирующих связей может явиться структурная модель, позволяющая оценивать динамические свойства направления, точки приложения и отбора перекрестных связей объекта.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Ешенко А. А. Структурные динамические модели процесса вертикального вытягивания стекла. // Вестн. ИрГТУ. 2005. № 3. С. 101–107.
2. Ешенко А. А., Головин Н. А. Динамическая модель процесса формования ленты стекла при безлодочном способе вытягивания // Стекло : тр. ГИС. 1976. № 1 (150). С. 90–95.
3. Головин Н. А., Ешенко А. А.. Ануфриев И. Я. Динамика процесса формования ленты стеков при лодочном способе вытягивания // Тр. ИПИ. Серия «Автоматическое управление и контроль». 1973.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта

Иркутский государственный университет путей сообщения
Иркутский научный центр СО РАН
Российская инженерная академия

Современные технологии

Системный анализ

Моделирование

Раздел 3.

Системный анализ и междисциплинарные подходы в исследованиях.

Содержание научного журнала:

- Инженерная механика
- Транспортные средства
- Энергетика и электромеханика
- Строительство, материалы и конструкции
- Охрана окружающей среды
- Автоматизация технологических процессов
- Современные технологии
- Системный анализ
- Моделирование технических систем
- Транспортные системы
- Телекоммуникации и связь
- Управление техническими системами
- Информационные технологии

Панченков А.Н. УДК 510

ПРИНЦИПЫ ОПТИМАЛЬНОСТИ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ: СОВМЕСТНЫЙ АНАЛИЗ

I. Исходная идея: объединяющая структура

1. Если начать отсчет времени от Эйлера и Лагранжа, то вариационные принципы (принципы оптимальности) широко и эффективно применяются в различных науках и Естествознании практически 250 лет. Процесс развития аналитических (точных) теорий сопровождался открытием и возникновением различных новых принципов оптимальности. Итог здесь хорошо известен: к началу текущего века – моменту возникновения аналитического Естествознания сформировался большой массив принципов оптимальности. Для завершения сверхважной определяющей проблемы, создания современного Миропонимания, нам в дополнение к аналитическому Естествознанию крайне необходимо выполнить глубокий и всесторонний анализ существующих принципов оптимальности. Заметим, что в отсутствие аналитического Естествознания задача анализа существующих принципов оптимальности была бы обречена на неудачу. Здесь нужна исходная идея – стержневая структура, объединяющая все множество принципов оптимальности. Нужен взгляд сверху. Теперь у нас эта объединяющая структура есть: она находится в основании аналитического Естествознания [38].

В формате аксиоматического описания объединяющая структура содержит две сущности:
– *объект аналитического Естествознания,*
– *фундаментальный принцип оптимальности.*

Эти сущности нам хорошо известны:
– *хаотическая сплошная среда,*
– *принцип максимума энтропии Панченкова.*

2. В реализации идеи Творца мы прошли большой путь длительностью в два с половиной века, и наступил момент подведения итогов [1-46]. В основе такого документа – приведенного ниже анализа принципов оптимальности – лежат три критерия анализа:
– *общность,*
– *примат,*
– *сферы применения.*

II. Концепция фундаментального принципа оптимальности: общность

Начнем изучение проблемы с верхнего онтологического уровня. В логике аналитического Естествознания на верхнем онтологическом уровне два критерия анализа – общность и примат – тесно связаны и, по существу, именно они, составляя единое целое, и лежат в основании концепции фундаментального принципа оптимальности. Принцип оптимальности верхнего онтологического уровня, будучи фундаментальным принципом аналитического Естествознания, обладает среди известных принципов оптимальности вселенской общностью. Но наибольшая (вселенская) общность этого принципа оптимальности наделяет его и вторым определяющим свойством – приматом.

Общность и примат фундаментального принципа оптимальности определяют идеологию, исходные постулаты и принципы аналитического Естествознания. Обратимся теперь к книге автора «Аналитическое Естествознание» [38]. Как известно, в современном Миропонимании первичной сущностью Природы и Действительности является хаос, реализованный в виде хаотической сплошной среды. Гипотезу о существовании в Природе и Действительности вариационных принципов был введен автором постулатом оптимальности.

Постулат оптимальности – *Состояния хаоса поддерживает фундаментальный принцип оптимальности.*

Фундаментальный принцип оптимальности играет в Мироздании главную роль: Он придает состояниям хаоса упорядоченность, организованность и, в некотором смысле, оптимальность. Теперь нам для целостного и ясного понимания основных фактов и идей проблемы принципов оптимальности необходим постулат континуума и формула хаоса.

Прежде всего, хотелось бы напомнить читателям определение хаоса [37, 38].

Определение 1. *Хаос – это наполняющая пространство неразрывная сплошная среда.*

Это определение привело автора к следующему постулату.

Постулат континуума: *Хаос существует в континууме.*

Теперь первая аксиома хаоса.

Первая аксиома хаоса: «*Хаос – организованная сплошная среда, содержащая детерминированные объекты, сущности и структуры».*

И апогей.

Формула хаоса: «*Хаос = чистый хаос + структура».*

Именно эта формула и определяет цель и назначение принципов оптимальности различных точных наук и аналитического Естествознания. Принцип оптимальности лежит в основе символьного формализма аналитического описания и нахождения структуры хаоса. Эту идея сформулирована в постулате структуры хаоса.

Постулат структуры хаоса: «*Структура хаоса – оптимальная структура».*

III. Функционал

1. Исходные постулаты и принципы аналитического Естествознания определяют формат функционала фундаментального принципа оптимальности.

Ключевую роль в конструировании функционала играют:

– принцип несовершенства,
– постулат ансамбля,
– принцип коллективности.

Эти утверждения имеют следующие формулировки [38].

Принцип несовершенства: «*В Природе и Действительности отсутствуют реализованные в одном экземпляре обособленные точные оптимальные структуры».*

Постулат ансамбля: «*В Природе и Действительности не существует та или иная конкретизация структуры хаоса: структуры хаоса являются «копиями», входящими в состав коллективов (либо ансамблей)».*

Принцип коллективности: «*Точная структура – коллективная структура».*

2. Поскольку в соответствии с идеей Высшего Разума, реализованной в постулате структуры хаоса точная структура и есть оптимальная структура; то ее следует искать на множестве реализаций несовершенных структур, входящих в состав ансамбля. Оптимальная структура есть результат коллективного взаимодействия несовершенных структур. Это утверждение и определяет формат функционала: «*Функционал фундаментального принципа оптимальности определен на множестве состояний хаотической сплошной среды».*

IV. Хаотическая сплошная среда

Среди известных объектов современной науки наибольшей (вселенной) общностью и приматом обладает хаотическая сплошная среда – объект аналитического Естествознания. Аксиоматическое определение этого объекта введено автором в книге «Аналитическое Естествознание». В этой же книге содержится следующее определение.

Определение 2. *Аналитическое Естествознание – часть современного Естествознания, содержащая концепцию, методологию, аксиоматическую базу и инструментальные средства аксиоматического формульного описания объектов Природы и Действительности.*

Заметим, что в серии книг «Энтропия» объект энтропии назван автором «виртуальной сплошной средой» [33-37]. Но при создании аналитического Естествознания возникла необходимость введения нового самостоятельного объекта – хаотической сплошной среды. Строго говоря «хаотическая сплошная среда» является конкретизацией виртуальной сплошной среды. Для дальнейшего важна следующая деталь: «*Объект аналитического Естествознания – хаотическая сплошная среда содержит основной (первичный) геометрический объект: фазовое пространство».*

V. Энтропия – первичная сущность аналитического Естествознания

Напомню, что по крупному счету за весь трехсотлетний период существования и развития науки в целом в ней были реализованы только три парадигмы:

– *физическая,*
– *информационная,*
– *энтропийная.*

Как известно, в физической парадигме первичной сущностью является энергия.

В информационной парадигме – информация. Но энергия и информация совершенно непригодны на роль базовых структур современного научного Миропонимания.

В новой современной (энтропийной) парадигме, носителем которой и является аналитическое Естествознание, на переднюю позицию вышла и приняла вид первичной сущности энтропия. Общий результат здесь ясен:

«базовой структурой аналитического Естествознания является энтропия».

В современной семантике энтропии автором в книге «Эконофизика» дано следующее определение.

Определение 3. *Энтропия – это логарифмическая мера совершенства объектов Природы и Действительности.*

Итак: энтропия это мера совершенства.

VI. Принцип максимума энтропии Панченкова

1. Среди известных в современной науке принципов оптимальности наибольшей общностью и приматом обладает принцип максимума энтропии Панченкова [33]. Этот принцип имеет формулировку: «*Функционирование хаотической сплошной среды удовлетворяет принципу оптимальности – максимума энтропии».*

2. В аналитическом Естествознании исходным представлением энтропии является Больцмановское представление энтропии [4]:

$$H_f = -\int_{\Omega} \rho \ln \rho d\Omega . \qquad (1)$$

Энтропия называется общей энтропией. Ключевую роль в проблеме принципов оптимальности играет тот факт, что этот функционал удовлетворяет формату функционала фундаментального принципа оптимальности.

3. Для Больцмановского представления энтропии принципу максимума энтропии Панченкова соответствует экстремальная задача [33].

$$H_f^* = \max H_f;$$
$$H_f = -\int_{\Omega} \rho \ln \rho d\Omega; \ \int_{\Omega} \rho d\Omega = 1. \qquad (2)$$

Здесь H_f^* – экстремальное значение общей энтропии.

Обратим внимание на важную техническую деталь: в экстремальной задаче максимизация происходит по скаляру ρ – плотности хаотической сплошной среды.

VII. Задача и теорема Мунка

1. Экстремальной задаче принципа максимума энтропии Панченкова предшествовала достаточно долгая история. Пионерные идеи, приведшие к прообразам этой экстремальной задачи, возникли в теории оптимальных гидроаэродинамических форм. Здесь речь идет о двух независимых направлениях:

– теории несущей поверхности (аэродинамике крыла) [32] ,

– теории корабельных волн.

В теории несущей поверхности характерной задачей теории оптимальной несущей поверхности является экстремальная задача с содержательной формулировкой: «*Найти оптимальную геометрию несущей поверхности, на которой реализуется минимальное индуктивное сопротивление при постоянной подъемной силе».*

Ее первое достаточно строгое исследование методами теоретической гидродинамики выполнено Мунком в 1919 году [32]: В этом же исследовании Мунком доказана известная теорема (названная автором статьи в книге «Теория оптимальной несущей поверхности» теоремой Мунка) о необходимом условии экстремума этой задачи. Начиная с работы Мунка, принятые математические формулировки и методы исследования приводили к явлению физической некорректности в том смысле, что единственному оптимальному решению не ставилась в соответствие единственная оптимальная геометрия крыла. В связи с этим в теорию была введена более частная формулировка: «*Найти оптимальное распределение циркуляции по размаху несущей поверхности, доставляющее минимальное индуктивное сопротивление при постоянной подъемной силе».* С позиций сегодняшнего дня науки выдающуюся роль в развитии Миропонимания играет факт физической некорректности. Это росток крайне эффективного фундаментального свойства экстремальнойзадачи принципа максимума энтропии Панченкова.

2. Математическая теория проблемы Мунка приняла завершенный вид в моей монографии «Теория оптимальной несущей поверхности» [32]. Из многочисленных материалов этой книги приведем интересный фрагмент. Одна из наиболее известных формулировок задачи Мунка имеет вид:

$$\Psi = \min_{u \in U} \int_0^T uW(u)dt;$$
$$\bar{U} \subset R; \int_0^T udt = D. \qquad (3)$$

Здесь $W(u)$ – некоторый функциональный (дифференциальный, интегральный, интегродифференциальный и т.д.) оператор.

Имеет место следующая теорема.

Теорема Мунка: «*Если $W(u)$ устойчив относительно возмущений допустимых экстремалей в окрестности экстремального решения * и и экстремальное решение принадлежит внутренней точке множества допустимых экстремалей $\bar{U}$, то на решениях задачи Мунка W*=const».

Ключевой элемент задачи Мунка, определяющий, в конечном итоге, ее историческую и фундаментальную значимость в проблеме принципов оптимальности, состоит в том, что ее интегрант W обладает общностью, выводящую эту задачу за пределы классической теории экстремальных задач. По крупному счету задача Мунка – некорректная экстремальная задача. Этот факт, ха-

рактерный в последовательности научных исследований, один из итогов которых сформулирован авторм в виде:

Утверждение 1. *Онтология принципа максимума энтропии Панченкова не входит в онтологию классической теории экстремальных задач.*

3. Приведем один важный концептуальный результат книги «Теория оптимальной несущей поверхности». Как известно, в теории оптимального управления задача оптимального управления той или иной системой оказывается намного сложнее, чем задача ее свободной динамики. В теории оптимальной несущей поверхности положение иное. Симметрия – условие Мунка, дает возможность решить первую часть проблемы – определить оптимальное распределение циркуляции для заданного множества конструктивных параметров. Это в конечном итоге позволяет резко упростить исходную математическую модель теории крыла, заданную либо сингулярным интегральным уравнением, либо краевой задачей для уравнения в частных производных. Отсюда следует и эффективный путь упрощения исходной математической модели гидроаэродинамики – постулирование мунковости крыла.

4. Один промежуточный итог.

Утверждение 2. *Задача Мунка является в определенном смысле предшественницей экстремальной задачи принципа максимума энтропии Панченкова.*

VIII. Глобальная симметрия – Закон сохранения энтропии. Двойственность представления энтропии

1. Теперь наступил момент для формулировки основного факта энтропийнойпарадигмы и аналитического Естествознания: Решение экстремальной задачи (2) хорошо известно и содержится в монографии автора «Энтропия». Главный результат этого решения сформулирован в виде теоремы.

Теорема 1: «*В хаотической сплошной среде, удовлетворяющей принципу максимума энтропии Панченкова, существует глобальная симметрия – энтропия сохраняет постоянное значение*

$$H_f = const \text{»}. \qquad (4)$$

2. В аналитическом Естествознании и энтропийном анализе фундаментальную роль играет симметрия – двойственность представления энтропии:

$$H_f \overset{\Delta}{=} H_q + H_p; \{q; p\} \in \Omega, \qquad (5)$$

где H_q – структурная энтропия (энтропия Панченкова); H_p – энтропия импульса.

Впервые эта симметрия сформулирована в 1970 году в статье «Энтропия физических и кибернетических систем» [19].

IX. Энтропийное многообразие

Среди геометрических объектов аналитического Естествознания и энтропии ключевую роль играет энтропийное многообразие. Энтропийное многообразие конструируется путем сужения фазового пространства. Энтропийное многообразие автором вводится следующим образом.

Определение 4. *Энтропийное многообразие – это многообразие фазового пространства, на котором поддерживается глобальная симметрия – закон сохранения энтропии.*

Энтропийное многообразие имеет вид:

$$Э = \{q, p \mid Э \subset \Omega, H_f\}. \qquad (6)$$

Поскольку в хаотической сплошной среде существует двойственное представление энтропии (5) и фазовое пространство имеет вид прямого произведения, то энтропийное многообразие будет также иметь структуру прямого произведения:

$$Э \overset{\Delta}{=} Э_q + Э_p,$$

$$Э_q = \{q \mid Э_q \subset \Omega_q, H_q\},$$

$$Э_p = \{p \mid Э_p \subset \Omega_p, H_p\}.$$

Здесь:

$Э_q$ – энтропийное многообразие конфигурационного пространства,

$Э_p$ – энтропийное многообразие пространства импульса.

В настоящее время широко известны, введенные в книгах серии «Энтропия», основные суждения энтропийного многообразия:

-*соленоидальное многообразие,*
-*многообразие потенциала ускорений,*
-*Гильбертово поле,*
-*особое Гильбертово поле,*
-*Диффузионное поле.*

X. Феноменология энтропийного многообразия

Энтропийное многообразие обладает чрезвычайно важной и глубокой феноменологией. Эта феноменология содержится в следующем утверждении.

Утверждение 3. *Принцип максимума энтропии Панченкова утверждает факт существования в фазовом пространстве многообразия, поддерживающего глобальную симметрию – закон сохранения энтропии.*

Это многообразие и есть энтропийное многообразие. Вне всякого сомнения, здесь определяющую роль играет факт значения принципа

максимума энтропии Панченкова в аналитическом Естествознании и современной науке: *Этот принцип оптимальности порождает в фазовом пространстве энтропийное многообразие.*

Ясно, что энтропийное многообразие есть следствие принципа максимума энтропии Панченкова. Следующий очевидный вывод: *Энтропийное многообразие есть базовый геометрический объект аналитического Естествознания и современной науки.*

Еще один концептуальный результат. Дав в руки исследователей энтропийное многообразие мы можем в развитии конкретного символьного вывода точных наук отойти от прямого обращения к принципу максимума энтропии Панченкова. Это означает введение онтологии энтропийного многообразия, и, как следствие, обеспечить переход с верхнего онтологического уровня – уровня принципа максимума энтропии Панченкова на другой (более низкий) онтологический уровень энтропийного многообразия. У нас есть основной закон Мироздания – закон сохранения энтропии и мы должны с ним работать. В частной задаче – проблеме принципов оптимальности будет справедливо утверждение: «*Все известные в текущий период принципы оптимальности расположены на энтропийном многообразии*». Это утверждение есть следствие вселенской общности упомянутого принципа максимума энтропии. С другой стороны оно дает рецепт совместного конструктивного анализа известных принципов оптимальности. В более общей формулировке – рецепт создания теории принципов оптимальности.

XI. Обобщения

1. В энтропийной парадигме и аналитическом Естествознании хорошо известны и формализованы два типа обобщений:

– обобщение объекта исследования;

– обобщение структуры хаотических потоков.

В первом обобщении речь идет о переходе от аксиоматического описания над полем вещественных чисел к аксиоматической теории над полем комплексных чисел. Это означает смену объекта исследования: «*Переход от хаотической сплошной среды к комплексной хаотической сплошной среде*». Ясно, что в этом акте происходит смена основного геометрического объекта: вместо вещественного фазового пространства в аксиоматической теории той или иной науки участвует комплексное фазовое пространство. Здесь замечательным является выдающийся факт: *комплексификация является обязательным элементом современных новых теорий.* В современный период существует ряд актуальных наук, аксиоматическая теория которых не имеет сужения на вещественное фазовое пространство. Здесь образцом является инерция – для этого следует обратиться к книге автора «Инерция» [35].

2. Основной энтропийный формализм серии книг «Энтропия» (включая книгу «Аналитическое Естествознание») была разработана автором для случая гладких (почти всюду) решений. Но этого недостаточно: состояния хаотических потоков над полем вещественных чисел, классифицируемые как события, не поддаются полному эффективному описанию в пространствах гладких функций – необходим переход от классических решений к распределениям. В моих книгах серии «Энтропия» формализм хаотических потоков в пространствах распределений создан. Как правило, первым звеном этого формализма является экстремальная задача принципа максимума энтропии Панченкова в пространстве распределений.

3. Существует еще один вариант отхода от основного формализма энтропийной парадигмы, обязанный модификации экстремальной задачи принципа максимума энтропии.

Имеется ряд попыток подобной модификации, но ничего нового в смысле общности глобальной симметрии – закона сохранения энтропии на вещественных энтропийных многообразиях они не дали. Глубинная причина этих неудач обязана симметрии – двойственности представления энтропии. В этой симметрии автором (по определению) задана двучленная структура общей энтропии H_f. Ключ проблемы состоит в том, что автором постулировано существование двух аддитивных компонент энтропии H_f, имеющих принципиально различные природу и феноменологии. Однако автор ни слова не говорит о явном виде структурной энтропии и энтропии импульса. Отсутствие явного вида структурной энтропии и энтропии импульса и обеспечивает нужную общность.

XII. Характеризация: параметры идентификации принципов оптимальности

1. В аксиоматике хаотической сплошной среды все известные принципы оптимальности расположены на энтропийном многообразии вещественного фазового пространства. Ясно, что в этой ситуации каждый конкретный принцип оптимальности имеет (поддерживает) свое подмногообразие энтропийного многообразия. Теперь можно полагать, что для построения единой целостностной структуры принципов оптимальности необходимо:

– найти характеризацию конкретного принципа

оптимальности: выделить и сконструировать подмногообразие энтропийного многообразия;
– построить упорядоченную (иерархическую) структуру онтологических уровней принципов оптимальности.

2. Для решения этих двух задач нам необходимо, опираясь на аксиомы объекта аналитического Естествознания, выделить из аксиоматической базы хаотической сплошной среды параметры идентификации принципов оптимальности.

Комплект параметров идентификации выглядит следующим образом: t – астрономическое время, q – обобщенная координата, p – импульс, ρ – плотность хаотической сплошной среды, η – плотность хаотической сплошной среды конфигурационного пространства.

XIII. Хаотическая сплошная среда: параметризация состояний

1. Обратимся к аксиоматической базе хаотической сплошной среды. В соответствии с третьей аксиомой ее состояния параметризованы и параметром параметризации является астрономическое время. Но здесь существует один исключительный случай: параметр t принял постоянное значение – астрономическое время остановилось. Остановка астрономического времени означает нарушение свойства параметризации состояний хаотической сплошной среды. Это явление и приводит к двучленной классификации видов хаотической сплошной среды:
–параметризованная хаотическая сплошная среда ,
–непараметризованная хаотическая сплошная среда.

На глубинном уровне нарушение параметризации хаотической сплошной среды привело к серьезным последствиям: вплоть до автономии и создания самостоятельной (информационной) парадигмы науки. Но нас интересуют последствия непараметризации в онтологии глобальной симметрии – закона сохранения энтропии. Основное следствие этого акта: отсутствие импульса. Отсутствие импульса приводит к изъятию из концептуальной модели, методологии и символьного вывода пространства импульса. Акт изъятия происходит путем сужения:

$$\left\{\Omega;\Omega=\left\{q,p\mid q\in\Omega_q;p\in\Omega_p\right\}\right\}\to \\ \to\left\{\Omega_q;\Omega_p=\left\{q\mid q\in R^n\right\}\right\}. \quad (7)$$

Это сужение приводит к фундаментальному результату непараметризованной хаотической сплошной среды:

$$H_f=H_q;q\in Э_q. \quad (8)$$

Семантика этого уравнения очевидна: в непараметризованной хаотической сплошной среде отсутствует энтропия импульса и нарушена симметрия – двойственность представления энтропии. В информационной интерпретации (см. книгу «Энтропия») структурная энтропия приобретает вид информационной энтропии.

2. Конструирование энтропийного многообразия непараметризованной хаотической сплошной среды производятсяпутем задания на энтропийном многообразии структуры – информационной энтропии:

$$Э_q=\left\{q\mid Э_q\in\Omega_q;H_f\right\}:H_f=H_q;\Omega_p=\varnothing;Э_p=\varnothing. \quad (9)$$

XIV. Параметризованная хаотическая среда: сужение энтропийного многообразия

1. В параметризованной хаотической сплошной среде онтологические уровни определяет цепочка сужений энтропийного многообразия [33-38].

$$Э\supset\mu\supset\pi\supset\Im\supset L_s\supset D_s. \quad (10)$$

В этой цепочке:
Э – энтропийное многообразие,
μ – соленоидальное многообразие,
π – многообразие потенциала ускорений,
$\Im$ – Гильбертово поле,
L_s – Особое Гильбертово поле,
D_s – Диффузионное поле.

2. Первым сужением энтропийного многообразия является соленоидальное многообразие. Соленоидальное многообразие получается путем задания на энтропийном многообразие дивергенции

$$\sigma=divA;A=\left[\frac{\partial q}{\partial t},\frac{\partial p}{\partial t}\right]. \quad (11)$$

В результате мы и получаем это многообразие

$$\mu=\left\{q,p\mid\mu\subset Э;\sigma=divA\right\}. \quad (12)$$

На соленоидальном многообразии симметрия – закон сохранения энтропии поддерживается уравнением

$$\sigma=0;\{q,p\}\in\mu. \quad (13)$$

3. Ведение в теорию потенциала ускорений приводит к очередному сужению энтропийного многообразия – многообразию потенциала ускорений

$$\pi=\left\{q,p\mid\pi\subset\mu;\Theta;\xi=\begin{pmatrix}0 & -E\\ E & 0\end{pmatrix}\right\}. \quad (14)$$

Здесь: Θ – потенциал ускорений; $\xi = \begin{pmatrix} 0 & -E \\ E & 0 \end{pmatrix}$ – кососимметрическая матрица метрики (метрика); E – единичная диагональная матрица.

Как известно из монографии автора «Энтропия», на многообразии потенциала ускорений справедливы канонические уравнения потенциала ускорений

$$\frac{\partial q}{\partial t} = -\frac{\partial \Theta}{\partial p}; \{q, p\} \in \pi, \qquad \frac{\partial p}{\partial t} = -\frac{\partial \Theta}{\partial q}. \tag{15}$$

4. Одно из центральных мест занимает сужение многообразия потенциала ускорений, содержащее потенциал импульса. Подмногообразие многообразия потенциала ускорений, содержащее потенциал импульса, носит название Гильбертова поля.

Гильбертово поле имеет вид:

$$\Im = \{q, p \mid \Im \subset \pi, \Psi\}. \tag{16}$$

На Гильбертовом поле

$$p = grad\Psi; \Psi = \Psi(q, t)$$

и справедливо уравнение потенциала ускорений

$$\frac{d\Psi}{dt} = \Theta; \{q, p\} \subset \Im. \tag{17}$$

5. Сужение Гильбертова поля, содержащее хаотические потоки, выполнено с помощью специализации основной структуры – потенциала ускорений. Потенциал ускорений тонкоматериального Мира был найден и описан в книге автора «Энтропия». Он имеет вид:

$$\Theta = -(\dot{q} \mid p)_{R^n} - \Pi; (q, p) \in \Im, \qquad p = grad\Psi; \Pi = \Pi(q, t). \tag{18}$$

Этот потенциал ускорений и выделяет из состава Гильбертова поля подмногообразие – особое Гильбертово поле.

$$L_s = \{q, p \mid L_s \subset \Im; \Theta = -(\dot{q} \mid p)_{R^n} - \Pi\}. \tag{19}$$

6. Основное энтропийное многообразие диффузии реализуется путем задания на Гильбертовом поле двух известных фундаментальных структур:

$$\Psi = H_q; H_q = -\ln\eta; q \in L_s. \tag{20}$$

Этим актом и конструируется Диффузионное поле:

$$D_s = (q, p \mid D_s \subset L_s; \Psi = H_q; H_q = -\ln\eta).$$

XV. Классическая физика: Принцип Гамильтона

Состояния объектов классической физики реализуются в параметризованной хаотической сплошной среде и принцип Гамильтона расположен на сужениях энтропийного многообразия (XIV).

Основой выбора многообразия принципа Гамильтона является двойственность представления скорости:

$$A = \begin{cases} [\dot{q}, \dot{p}]; p \in \Omega_p, \\ \left[\dfrac{\partial q}{\partial t}, \dfrac{\partial p}{\partial t}\right]; p = p(q,t), q \in \Omega_q. \end{cases} \tag{21}$$

В этой двойственности импульс $\{p(q,t), q \in \Omega_q\}$ – присоединенный импульс, а $p \in \Omega_p$ – свободный импульс.

В Гамильтоновом формализме участвует свободный импульс, что и приводит к локальной формулировке закона сохранения энтропии на подмногообразии соленоидального многообразия:

$$H_f = const : divA = 0; A = [\dot{q}, \dot{p}]; \{q, p\} \in \mu, p \in \Omega_p. \tag{22}$$

На этом многообразии принцип Гамильтона поддерживается двумя структурами: гамильтонианом и кососимметрической метрикой.

Эти структуры и формируют сужение соленоидального многообразия:

$$\pi_\phi = \left\{q, p \mid \pi_\phi \subset \mu : H; \xi = \begin{pmatrix} 0 & E \\ -E & 0 \end{pmatrix}\right\}. \tag{23}$$

На этом многообразии и существуют канонические уравнения Гамильтона [14]:

$$\dot{q} = \frac{\partial H}{\partial p}; \dot{p} = -\frac{\partial H}{\partial q} : \{q, p\} \in \pi_\phi. \tag{24}$$

Важным фактом аналитического Естествознания является согласованность канонических уравнений потенциала ускорений и Гамильтона.

Эта согласованность зафиксирована следующим утверждением.

Утверждение 4. *При освобождении присоединенного импульса канонические уравнения потенциала ускорений переходят в канонические уравнения Гамильтона при выполнении условия*

$$H = -\Theta_{|p \in \Omega p}. \tag{25}$$

Здесь существует еще один определяющий факт: Потенциал ускорений обладает большей общностью, чем гамильтониан.

Это факт и определяет классификационный признак принципа Гамильтона: «*Принцип Гамильтона расположен на подмногообразии многообразия потенциала ускорений*».

В свою очередь, установленный классификационный признак задает онтологию принципа Гамильтона: «*Онтология принципа Гамильтона является частью онтологии многообразия потенциала ускорений».*

XVI. Формализм Гамильтона-Якоби

Ключевой момент: «В противоположность каноническим уравнениям Гамильтона в уравнении Гамильтона-Якоби импульс является присоединенным импульсом». Это и устанавливает структуру импульса Гамильтонова формализма: «*Присоединенный импульс, возникающий в акте присоединения импульса Гамильтоновой механики, обладает структурой градиентного вектора*

$$p = grad\Psi;\ q \in Э_q». \qquad (26)$$

Настоящий факт и лежит в основе важного свойства классической физики: «*Энтропийное многообразие* π_ϕ *имеет сужение на Гильбертово поле».*

Общий итог здесь хорошо известен в энтропийной парадигме: «*Принцип Гамильтона расположен на Гильбертовом поле».*

XVII. Теория информации: Принципы максимума энтропии

1. Характерной чертой теории информации является то, что все объекты ее частных теорий расположены в непараметризованной сплошной среде. Следствие этого факта хорошо известно: «Информационная энтропия имеет смысл меры статической информации. Динамической информации в известных теориях нет [44, 45]».

Второй важный факт: «Информационная энтропия имеет алгебраическую структуру. А алгебраическая структура является классификационным признаком: *Расположенная на энтропийном многообразии, имеющая алгебраическую структуру энтропия удовлетворяет принципу максимума Панченкова».*

Еще одно характерное свойство: «Алгебраическая структура информационной энтропии приводит к классификации экстремальных задач теории информации как задач математического программирования».

2. Исходной и характерной экстремальной задачей теории информации является задача максимума энтропии Шеннона [44, 45]

$$\begin{gathered} H_f^* = \max_u H_f; u \in Э_q; \\ H_f = -K(u \mid \ln u)_{R^n}; (E \mid u)_{R^n} = 1. \end{gathered} \qquad (27)$$

Ее решение хорошо известно и имеет вид: $u = \dfrac{E}{nK}$.

Для проблемы принципов оптимальности важную роль играет интерпретация вектора управления u. Вектор « u » имеет смысл дискретной функции распределения вероятностей случайной величины $\{x\}$. Ясно, что здесь постулируется изоморфизм между векторами $\{u, q\}$. Это означает, что вектор q имеет структуру $q = q(u)$.

Характерной структурной энтропией в развиваемой теории энтропии является энтропия Панченкова. В случае вещественного конфигурационного пространства $\Omega_q \subset R^n$ энтропия Панченкова определяется формулой

$$H_q = -(E \mid \ln q\}; q \in Э_q. \qquad (28)$$

Согласование двух энтропий условием $H_f = KH_q$ приводит к нужному результату

$$q = u^u.$$

3. Получившие весьма широкое распространение и практическое применение, известные принципы максимума энтропии относятся к различным обобщениям задачи математического программирования (27).

В большей части эти обобщения идут двумя путями:

- конструирование функционала,
- включение в экстремальную задачу дополнительных ограничений.

Находясь в пределах применимости принципа Лагранжа, на его основе конструируется вспомогательный функционал. Для вспомогательного функционала $\tilde{H}_f$ экстремальная задача имеет вид:

$$\begin{gathered} \tilde{H}_f^* = \max_u \tilde{H}_f; u \in Э_q; \\ (E \mid u)_{R^n} = 1. \end{gathered} \qquad (29)$$

4. В принципах максимума энтропии ключевую роль играет структура вспомогательного функционала. При достаточно общих предположениях эта структура имеет вид:

$$\begin{gathered} \tilde{H}_f = H_f + (u \mid F)_{R^n}; \\ H_f = -K(u \mid \ln u)_{R^3}; F = F(x); F(x) \in C^m(R^n). \end{gathered} \qquad (30)$$

Изюминка принципов максимума энтропии состоит в том, что вспомогательный функционал их стандартной задачи содержит характеристический член – энтропию Шеннона.

5. Среди энтропийных методов исследования сложных объектов наибольшее распространение получил метод Джейнса [5]. В основе метода Джейнса лежит следующая задача математического программирования:

$$H_f^* = \max_u H_f; u \in Э_q;$$
$$H_f = -K\left(u \mid \ln u\right)_{R^n}; \left(u \mid f\right)_{R^n} = \alpha; \left(E \mid u\right)_{R^n} = 1; \quad (31)$$
$$f = col\left\{f\left(x_1\right), f\left(x_2\right), ... f\left(x_n\right)\right\}.$$

Ясно, что вспомогательный функционал этой задачи является частной реализацией вспомогательного функционала (30).

6. Общий вывод здесь очевиден: «*Известные принципы максимума энтропии вторичны по отношению к принципу максимума энтропии Панченкова. Принципы максимума энтропии теории информации расположены на энтропийном многообразии конфигурационного пространства».*

XVIII. Теория оптимального управления: Принцип максимума Понтрягина

В свое время среди специалистов по теории оптимального управления получил известность и распространение принцип максимума Понтрягина [18, 19]. Характерной чертой формализма принципа максимума Понтрягина является то, что в нем управляемые динамические потоки описываются канонической системой уравнений Гамильтона. Гамильтониан является структурой принципа Гамильтона. Отсюда следует, что принцип максимума Понтрягина поддерживается принципом Гамильтона и является вторичным по отношению к этому принципу. Следствием этого является то, что принцип максимума Понтрягина расположен на особом многообразии потенциала ускорений. И после акта присоединения импульса – особом Гильбертовом поле. В итоге, в рамках формализма принципа максимума Понтрягина будет справедлива следующая иерархия принципов оптимальности:

- принцип максимума Панченкова,
- принцип Гамильтона,
- принцип максимума Понтрягина.

XIX. Динамическое программирование: Принцип оптимальности Беллмана

Формализм динамическогопрограммирования представляет обобщение на управляемые потоки формализма Гамильтона-Якоби [2]. Как известно из книг автора серии «Энтропия», формализм Гамильтона-Якоби реализован на Гильбертовом поле. Это свойство и определяет энтропийное многообразие принципа оптимальности Беллмана: «*Принцип оптимальности Беллмана расположен на Гильбертовом поле».* В свою очередь, принцип оптимальности Беллмана не обладает приматом на Гильбертовом поле: Вначале принцип Гамильтона – потом принцип оптимальности Беллмана. По общности в иерархии принципов оптимальности принцип Беллмана находится на третьей позиции.

XX. Асимптотическое программирование: Асимптотический принцип оптимальности

Низкая вычислительная эффективность динамического программирования, обязанная «проклятию размерности», привела во второй половине XX века к возникновению актуальной проблемы создания новых теорий оптимального управления, математическое обеспечение которых содержало бы эффективные алгоритмы выбора оптимального управления. В свое время в рамках исследований по этой проблеме автором было создано асимптотическое программирование [18, 21–26, 29–32].

Экстремальным принципом асимптотического программирования является асимптотический принцип оптимальности. Асимптотическое программирование изучает процессы принятия оптимальных решений при эволюции объекта в функциональном параметрическом пространстве. Одной из исходных идей асимптотического программирования является идея погружения, которая реализуется путем погружения исходного функционала в семейство функционалов, зависящих от параметра τ .

Асимптотический принцип оптимальности имеет следующую формулировку [31].

Асимптотический принцип оптимальности:

«Если в экстремальной задаче

$$\Psi\left(\tau\right) = \min_{u \in \bar{U}} \Phi\left(u, \tau\right)$$

$\Phi\left(u, \tau\right)$ *допускает асимптотическое разложение вида*

$$\Phi\left(u, \tau\right) = \sum_{n=0}^{N} D_n \tau^n + O\left(\tau^{N+1}\right),$$

то при постулировании асимптотического разложения

$$\Psi\left(\tau\right) = \sum_{n=0}^{N} D_n^* \tau^n + O\left(\tau^{N+1}\right)$$

существует последовательная связь

$$D_n^* = \min D_n, \; n = 0, 1, 2 ... N.$$

при некоторых ограничениях на структуру функционала $\Phi\left(u, \tau\right)$ *и пространства допустимых управлений* $\bar{U}$ *».*

В проблеме принципов оптимальности важна онтология асимптотического программирования – асимптотический принцип оптимальности разложен на энтропийном многообразии и получается, что в иерархии принципов оптимальности асимптотический принцип оптимальности может занять вторую позицию.

XXI. Принцип минимума производной

Важным фактом теории экстремальных задач является следующее свойство асимптотического программирования: «*Асимптотический принцип оптимальности обладает большей общностью, чем принцип максимума Понтрягина и принцип оптимальности Беллмана*».

Опираясь на эту общность, в 1973 году автором в рамках работ по развитию асимптотического программирования введен в науку принцип минимума производной. Этот принцип является одним из замечательных результатов асимптотического программирования [31]. Его формулировка имеет следующий вид.

Если в экстремальной задаче

$$\Psi(\tau) = \min_{u \in \bar{U}} \Phi(u, \tau); \tau \in [0, \tau_0]$$

существует производная $\frac{d\Phi}{d\tau}$ *для всех* $\tau \in [0, \tau_0]$, *то на оптимальной траектории она принимает минимальное значение.*

Ясно, что сфера применимости принципа минимума производной – другая по сравнению со сферами применяемости принципа максимума Понтрягина и принципа оптимальности Беллмана. Одна сфера здесь хорошо известна – это экстремальные задачи с локальными функционалами [30]. Семантика принципа минимума производной имеет вид: «*При функционировании (эволюции) системы в параметрическом пространстве оптимальное решение минимизирует будущее приращение функционала в малой окрестности момента принятия решения*».

XXII. Заключение

1. Среди известных принципов оптимальности наибольшей общностью обладает принцип максимума энтропии Панченкова.

2. Все известные принципы оптимальности современной науки расположены на энтропийном многообразии.

3. Принцип максимума энтропии Панченкова поддерживает энтропийное многообразие, тогда как остальные принципы оптимальности расположены на различных сужениях энтропийного многообразия вещественного фазового пространства.

4. В гигантской и суперважной проблеме создания современного научного Миропонимания в текущий момент вышла на передние позиции проблема единства и согласованности принципов оптимальности современной науки и аналитического Естествознания. Решение этой задачи и содержится в настоящей статье.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Алексеев В. М., Тихомиров С. В., Фомин В. М. Оптимальное управление. М. : Наука, ГРФМЛ. 1979. 430 с.
2. Беллман Р. Динамическое программирование. М., 1960. 420 с.
3. Бердичевский В. Л. Вариационные принципы механики сплошной среды. М. : Наука, 1983. 446 с.
4. Больцман Л. Избранные труды. М.: Наука, 1984. 615 с.
5. Вильсон А. Дж. Энтропийные методы моделирования сложных систем. М. : Наука, 1978. 246 с.
6. Вольтерра В. Теория функционалов, интегральных и интегродифференциальных уравнений. М. : Наука, 1982. 304 с.
7. Данеев А. В., Энтропия А. Н. Панченкова. В // Панченков А. Н. Физик, математик, инженер. Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2005. С. 103–128.
8. Иоффе А. Д. Теория экстремальных задач / А. Д. Иоффе, В. М. Тихомиров. – М. : Наука, 1974. 480 с.
9. Красовский А. А. Статистическая теория переходных процессов в системах управления. М. : Наука, 1968. 240 с.
10. Красовский А. А. Статистическая теория переходных процессов. М. : Наука, 1974. 240 с.
11. Красовский А. А. Фазовое пространство и статистическая теория динамических систем. М. : Наука, 1974. 232 с.
12. Красовский А. А. Избранные труды. М. : Мысль, 2001. 580 с.
13. Кульбак С. Теория информации и статистика. М. : Наука, 1967. 408 с.
14. Ланцош К. Вариационные принципы механики. М. : Мир, 1965. 408 с.
15. Лейтман Дж. Введение в теорию оптимального управления. М. : Наука, 1968. 192 с.
16. Линник Ю. В. Энтропия в новой картине Мира. Модели и анализ систем // Тр. ВВАГС. Нижний Новгород. 2005. Вып 1/6. С. 84–95.
17. Панченков А. Н. Гидродинамика подводного крыла. Киев : Наук. думка. 1965. 550 с.
18. Панченков А. Н. Асимптотический принцип оптимальности в теории оптимального управления // Прикладная математика. Иркутск : Изд-во Ирк. ун-та. 1969. Вып 1. – С. 34–46.
19. Панченков А. Н. Энтропия физических и кибернетических систем // Методы управления большими системами. Иркутск. 1970. Т. 2. С. 113–120.

20. Панченков А. Н., Чижов А. М. Оптимальное управление и его применение в судостроении. Горький : Изд-во ГИИВТа, 1971. 42 с.
21. Панченков А. Н. Элементы асимптотического программирования I // Асимптотические методы в теории систем. Иркутск : ИГУ, 1973. Вып. 4. С. 32-42.
22. Панченков А. Н. Элементы асимптотического программирования II // Асимптотические методы в теории систем. Иркутск : ИГУ, 1973. Вып. 5. С. 4–48.
23. Панченков А. Н., Харченко А. Г. Асимптотический метод решения экстремальных задач // Докл. АН УССР. 1973. № 3. С. 336–340.
24. Панченков А. Н. Элементы асимптотического программирования III // Асимптотические методы в теории систем. Иркутск : ИГУ, 1974. Вып. 6. С. 8–26.
25. Панченков А. Н. Элементы асимптотического программирования IV // Асимптотические методы в теории систем. Иркутск : ИГУ, 1974. Вып. 7. С. 5–25.
26. Панченков А. Н. Исследование экстремальных задач квадрупольной теории крыла методами асимптотического программирования // Асимптотические методы в теории систем. Иркутск. 1975. С. 40–57.
27. Панченков А. Н. Теория потенциала ускорений. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1975. 220 с.
28. Панченков А.Н. Основы теории предельной корректности. М. : Наука, 1976. 240 с.
29. Панченков А. Н. Сингулярные задачи вариационного исчисления и асимптотическое программирование I // Асимптотические методы в теории систем. Иркутск : ИГУ. 1976. Вып. 9. С. 5–31.
30. Панченков А. Н. Экстремальные задачи управления движением с локальным функционалом // Проблемы устойчивости движения. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1979. С. 190–203.
31. Панченков А. Н. Асимптотические методы в экстремальных задачах механики. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1982. 215 с.
32. Панченков А. Н. Теория оптимальной несущей поверхности. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1983. 256 с.
33. Панченков А. Н. Энтропия. Нижний Новгород : Изд-во о-ва «Интелсервис», 1999. 592 с.
34. Панченков А. Н. Энтропия-2 : Хаотическая механика. Нижний Новгород : Изд-во о-ва «Интелсервис», 2002. 713 с.
35. Панченков А. Н. Инерция. Йошкар-Ола : Изд-во ГУП МПИК, 2004. 417 с.
36. Панченков А.Н. Энтропийная механика. - Йошкар-Ола: Издательство ГУП «МПИК», 2005. – 576 с.
37. Панченков А. Н. Эконофизика. Нижний Новгород : ООО «Тип. Поволжье», 2007. 528 с.
38. Панченков А. Н. Аналитическое Естествознание. Саранск : Красный Октябрь, 2008. 640 с.
39. Пирс Дж. Символы, сигналы, шумы. М. : Мир, 1967. 334 с.
40. Прангишвили И. В. Энтропийные и другие системные закономерности. Вопросы управления сложными системами. М.: Мир, 2003. 428 с.
41. Розен Р. Принцип оптимальности в биологии. М. : Мир, 1969. 216 с.
42. Русанов В. А. Принцип максимума энтропии Панченкова в задаче структурной идентификации Д - систем. Аналитический подход // Панченков А. Н. Физик, математик, инженер. Иркутск Изд-во ИрГТУ, 2005. С. 145–167.
43. Шамбадаль П. Развитие и приложение понятия энтропии. М. : Наука, 1967. 278 с.
44. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. М., 1963. 827 с.
45. Яглом А. М., Яглом И. М. Вероятность и информация. М. : Наука, 1973. 512 с.
46. Янг Л. Лекции по вариационному исчислению и теории оптимального управления. М. : Мир, 1974. 488 с.

Сидоров И.А., Опарин Г.А., Феоктистов А.Г. УДК 519.6+004.273

ТЕХНОЛОГИЯ ОРГАНИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В ИНСТРУМЕНТАЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ DISCOMP[1]

Введение. Развитие технологий параллельного программирования привело к существенным изменениям архитектуры пакетов прикладных программ и, как следствие, к появлению новых требований к средствам описания и обработки схем решения задач со стороны конечных пользователей этих пакетов. Современные пакеты прикладных программ, зачастую, разрабатываются для работы в распределенной вычислительной среде (РВС). Такая среда состоит из вычислительных узлов, объединенных коммуникационной сетью. Вычислительный узел представляет собой программно-аппаратный ресурс, включающий модуль оперативной памяти, один или несколько процессоров, жесткий диск и системное программное обеспечение (комплекс программных средств, поддерживающих функционирование узла в РВС). Один из вычислительных узлов назначается главным узлом и наделяется функциями управления заданиями пользователей и ресурсами РВС.

В последнее время для решения ресурсоемких задач создаются различные распределенные и параллельные вычислительные среды (см., например, работы В.В. Абасова, В.С. Бурцева, В.А. Васенина, В.В. Воеводина, А.Б. Жижченко, В.Н. Коваленко, В.В. Корнеева, Д.А. Корягина, А.О. Лациса, А.П. Новопашина, В.В. Топоркова и др.). Однако массовое использование таких сред сдерживается рядом нерешенных до конца проблем взаимодействия конечного пользователя (специалиста-предметника) с высокопроизводительными вычислительными установками. В их числе сложность задания параллелизма алгоритма решаемой задачи, анализа результатов счета, управления распределенным процессом решения задачи и др.

Можно выделить два основных подхода к организации функционального наполнения пакета и решению прикладных задач в РВС.

1) Все вычислительные модули (прикладные программы пакета) находятся в одном узле РВС. По схеме решения задачи производится синтез целевой параллельной программы с последующей ее компиляцией и запуском на распределенной вычислительной установке.

2) Вычислительные модули размещаются в разных узлах РВС. Исполнение схемы решения задачи выполняется в режиме интерпретации.

В данной работе рассматриваются средства инструментального комплекса DISCOMP (DIStributed COmputing system of Modular Programming) для описания предметной области пакета прикладных программ и постановок исследовательских задач, а также способ выполнения схем решения задач в режиме интерпретации. Основные методологические принципы описания предметной области для распределенного пакета прикладных программ приведены в работе [1].

Инструментальный комплекс DISCOMP Данный программный комплекс предназначен для инструментальной поддержки основных этапов разработки и применения пакетов прикладных программ, ориентированных на работу в гетерогенной (многоплатформенной) РВС, которая может включать вычислительные кластеры различных видов. РВС характеризуется следующими особенностями: в одном узле РВС может быть установлено несколько вычислительных модулей; допустимо включение в состав функционального наполнения пакета нетиражируемых вычислительных модулей, жестко привязанных к узлам РВС; построение схемы решения задачи осуществляется по процедурной постановке задачи [2]; в качестве входного языка для описания модели предметной области пакета и формирования постановок исследовательских задач используется

[1]Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 08-07-00163) и при частичной поддержке гранта Президента РФ НШ 1676.2008.1.

метаязык XML; процессы решения задач в пакетах прикладных программ требуют проведения многовариантных параллельных расчетов; повышение степени отказоустойчивости пакета при выполнении схемы решения задачи может быть достигнуто путем введения вычислительной избыточности (установкой всех вычислительных модулей в каждом узле РВС).

Перечисленные выше характеристики РВС требуют включения в инструментальный комплекс гибких средств управления вычислительными процессами и формирования набора ограничений для управляющих конструкций схемы решения задачи.

Способы формирования схемы решения задачи. В рамках нашего подхода функциональное наполнение пакета состоит из множества вычислительных модулей, размещенных в узлах РВС. Модуль реализуется в виде программы, исполняемой в пакетном режиме и снабженной спецификацией по ее назначению, применению, времени выполнения, формату входных и выходных данных (параметров). Спецификации модулей определяют зависимости по входным и выходным параметрам (формируют описание исследуемой предметной области).

Задание пользователя пакету представляется в виде схемы решения задачи, определяющей множества входных и выходных параметров задачи и порядок применения модулей, требуемых для нахождения искомых значений параметров по исходным данным. Вычислительный процесс (процесс интерпретации схемы решения задачи) предполагает выполнение ряда зависимых между собой подзадач (модулей). В этом случае сложность управления таким процессом в РВС значительно возрастает [3].

В пакетах, как правило, реализуются два основных вида постановки задачи: процедурная и непроцедурная. Планирование по непроцедурной постановке задачи вида «по заданным значениям параметров $x_1, x_2, \ldots, x_k$ вычислить значения параметров $y_1, y_2, \ldots, y_r$» позволяет автоматически получать схему решения задачи, не вдаваясь в понимание зависимостей между входящими в нее модулями. Такой способ построения схемы решения задачи подходит для пакетов с большим количеством параметров и модулей. Зачастую, пакеты включают, незначительное число модулей и предполагают строгую последовательность их выполнения. В этом случае постановка задачи в процедурном виде является более предпочтительной и обеспечивает пользователю возможность самостоятельно определять порядок вычислений в процессе решения задачи и использовать дополнительные конструкции языка управления заданием, которые сложно применять при планировании вычислений по непроцедурной постановке задачи.

Входной язык. В качестве входного языка для описания предметной области пакета используется метаязык XML [4], обеспечивающий представление структурированных данных в виде записей, списков и деревьев. Важной чертой XML является его расширяемость, позволяющая совершенствовать и дополнять входной язык новыми средствами и возможностями без потери совместимости с предыдущими версиями этого языка. Входной язык, разработанный на основе XML, позволяет различным распределенным системам обмениваться данными посредством общих структур и спецификаций. В силу ограниченности объема работы полное формальное описание входного языка не приводится, а его основные особенности иллюстрируются примерами спецификаций различных объектов предметной области.

Описание предметной области включает следующие основные секции: спецификации параметров, модулей и постановок задач. На рис. 1. приведен фрагмент описания предметной области, включающий спецификации трех параметров, двух модулей и одной постановки задачи.

В первой секции описываются все параметры, которые могут быть задействованы в процессе решения задачи. Каждый параметр снабжен набором атрибутов: уникальным идентификатором, концептуальным именем, типом и соответствующими типу атрибутами. К допустимым типам параметров относятся *файл* и *список файлов*. Дополнительным атрибутом параметра типа *файл* является имя файла на диске для этого параметра. Дополнительными атрибутами параметра типа *список файлов* являются число элементов списка и шаблон имен файлов на диске для этих элементов.

Секция <modules> содержит спецификации, определяющие назначение модуля, атрибуты (идентификатор, имя модуля), команды запуска, а также множество входных и выходных параметров.

В секции <processes> описываются различные схемы решения задач для заданной предметной области. Каждая схема задается в ярусной форме, определяющей последовательность выполнения модулей для вычисления требуемых параметров.

```
<!-- секция спецификаций параметров -->
<parameters>
    <param id='1' name='model' type='file'
        filename='model.txt'>
    <param id='2' name='model_list' type='filelist'
        pattern='model_element_%1.txt' size='10'/>
    <param id='3' name='result_list' type='filelist'
        pattern='result_element_%1.txt' size='10'/>
</parameters>
<!-- секция спецификаций модулей -->
<modules>
    <module id='1' name='decompose'>
        <commands os='Windows'>
            <start>decompose.exe</start>
        </commands>
        <parameters>
            <input><param id='1'/></input>
            <output><param id='2'/></output>
        </parameters>
    </module>
    <module id='2' name='solve'>
        <commands os='Linux'>
            <start>./solver (param_id:2)</start>
        </commands>
        <parameters>
            <input><param id='2'/></input>
            <output><param id='3'/></output>
        </parameters>
    </module>
</modules>
<!-- секция спецификаций постановок задач -->
<processes>
    <process>
        <stage>
            <module id='1'/>
        </stage>
        <stage>
            <module id='2' listParameterId='2'/>
        </stage>
    </process>
</processes>
```

Рис. 1. Фрагмент описания предметной области на языке XML

Управление вычислительным процессом Подход к управлению вычислительным процессом в инструментальном комплексе DISCOMP базируется на механизмах обработки событий, возникающих при выполнении схемы решения задачи. Он включает две фазы: 1) применение операций, созданных пользователем пакета и предназначенных для обработки события и выбора нужного управления; 2) проверку корректности выбранного управления (контроль выполнения системы ограничений для интерпретатора схемы решения задачи в РВС) системными функциями пакета. Вызовы пользовательских операций реализуются в виде функций на языке JacaScript [5] и включаются в процедурную постановку задачи.

Спецификация каждого из ограничений интерпретатора схемы решения задачи включает: вид ограничения; способ его задания; уровни модели РВС, на которых осуществляется задание и контроль ограничения; наименование компонента РВС, контролирующего выполнение ограничения; формализованное представление ограничения; результат нарушения ограничения. Эти ограничения могут быть явными и неявными. Явные ограничения специфицируются пользователем при формировании постановки задачи или реализуются в рамках пользовательских операций. Неявные ограничения задаются при описании предметной области пакета или определяются программно-аппаратной средой, в которой функционирует пакет.

Множество неявных ограничений интерпретатора схемы решения задачи включает:

- ограничения на диапазоны значений параметров предметной области, определяемые типами этих параметров;
- условия допустимости выполнения схемы решения задачи;
- ограничения, определяемые системными характеристиками РВС: параметрами файловой системы, производительностью коммуникационной среды, количеством узлов и процессоров, тактовой частотой процессоров, объемами оперативной памяти и винчестеров и др.

Множество явных ограничений интерпретатора схемы решения задачи включает:

- размерность счетчиков циклических конструкций схемы решения задачи, время выполнения вычислительных модулей, время общего решения задачи;
- условия удовлетворения вычисляемых значений параметров качественным требованиям алгоритма решения задачи.

Спецификация схемы решения задачи включает управляющие конструкции для анализа текущего состояния и принятия решений о дальнейшем ходе вычислений. Применение таких конструкций основывается на системе событий, происходящих при обработке схемы решения задачи. К ним относятся:

- *beforeStart* – готовность модуля к запуску;
- *onFinish* – завершение работы модуля;
- *onFail* – некорректное завершение работы модуля;
- *onStop* – вынужденная остановка модуля;
- *onTimer* – мониторинг результатов вычислений, выполняемый с определенным интервалом времени.

Разработчик пакета может самостоятельно определять функциональное наполнение для обработки происходящих в процессе вычислений событий. Такой обработчик реализуется в виде набора операторов на языке JavaScript. Язык

JavaScript расширен программным интерфейсом DiscompAPI, позволяющий пользователю взаимодействовать с исполнительной подсистемой инструментального комплекса. Интерфейс DiscompAPI предоставляет следующие функциональные возможности: получение/изменение значений параметров, остановку/запуск процесса выполнения модуля (всех модулей на ярусе), передачу управления на нужный ярус. Корректность обработки событий средствами DiscompAPI обеспечивается ограничениями целостности, накладываемыми в процессе вычислений на отношения между объектами предметной области (параметрами, модулями, значениями параметров и др.).

На рис. 2 приведен пример описания условия остановки вычислений при обработке параметра типа список файлов.

```
<process>
    <stage>
        <module id='1'/>
    </stage>
    <stage>
        <module id='2' listParameter='2'
                onFinish='checkListResult()'/>
    </stage>
</process>
<actions>
  function checkListResult()
  {
    var res = DiscompAPI.getModuleOuputParam();
    if ( res != 0 ) {
       DiscompAPI.stopCurrentStageModules();
    };
  };
</actions>
```

Рис. 2. Включение управляющих конструкций в схему решения задачи

После завершения каждого экземпляра модуля *module 2*, запускается обработчик *checkListResult()*, который анализирует выходной элемент списка *param 3*. Если значение выходного элемента отлично от нуля, то производится остановка всех модулей на текущем ярусе и вычислительный процесс завершается. Применение данной конструкции позволяет избегать избыточных вычислений при решении комбинаторных задач большой размерности, основным назначением которых является поиск результата удовлетворяющего определенным условиям.

Следующий пример (рис. 3) иллюстрирует задание способа обработки события *onFinish* при параллельном запуске модулей, реализующих различные алгоритмы решения одной и той же задачи и идентичных по формату входных и выходных параметров. Применение подобной конструкции целесообразно в случае, если заведомо неизвестно какой из алгоритмов будет наиболее эффективным для вычисления значений выходных параметров.

```
<stage>
    <module id='1'
        onFinish='DiscompAPI.stopModules([2,3]);'>
    <module id='2'
        onFinish='DiscompAPI.stopModules([1,3]);'>
    <module id='3'
        onFinish='DiscompAPI.stopModules([1,2]);'>
</stage>
```

Рис. 3. Пример задания способа обработки события *onFinish*

После завершения выполнения одного из модулей, происходит событие *onFinish*, обработчик которого производит остановку остальных модулей. При таком подходе выполнение избыточных вычислений, во-первых, обеспечивает решение задачи за минимальное время, во-вторых, увеличивает степень отказоустойчивости вычислительного процесса. Данная постановка задачи эффективна только в том случае, если число доступных вычислительных узлов больше или равно количеству модулей.

Внутреннее представление описания предметной области. Транслятор инструментального комплекса DISCOMP переводит описание предметной области пакета во внутреннюю объектно-ориентированную структуру (рис. 4) и осуществляет проверку целостности модели данной предметной области.

Процесс трансляции во внутреннюю структуру включает в себя следующие этапы. Описание предметной области передается в качестве параметра методу *Init* объекта *Process*, который выполняет анализ всех структур, входящих в это описание, и производит разбор схемы решения задачи. Для каждого яруса схемы создается новый объект *Stage*, инициализируемый фрагментом спецификации. После инициализации каждый объект *Stage* добавляется в массив *stages_arr* объекта *Process*. Модули, которые должны быть выполнены на каждом ярусе, инициализируются по спецификациям входящим в предметную область и добавляются в массив *modules_arr* объекта *Stage*. Подобным образом инициализируются параметры для каждого из модулей.

Вычислительный процесс предполагает обработку всех ярусов (элементов массива *stages_arr* объекта *Process*) для данной схемы решения задачи. При обработке каждого яруса производится инициализация и запуск модулей на доступных узлах распределенной среды. После завершения

выполнения всех модулей яруса (элементов массива *modules_arr* объекта *Stages*), производится переход к следующему ярусу и обработка схемы решения задачи продолжается.

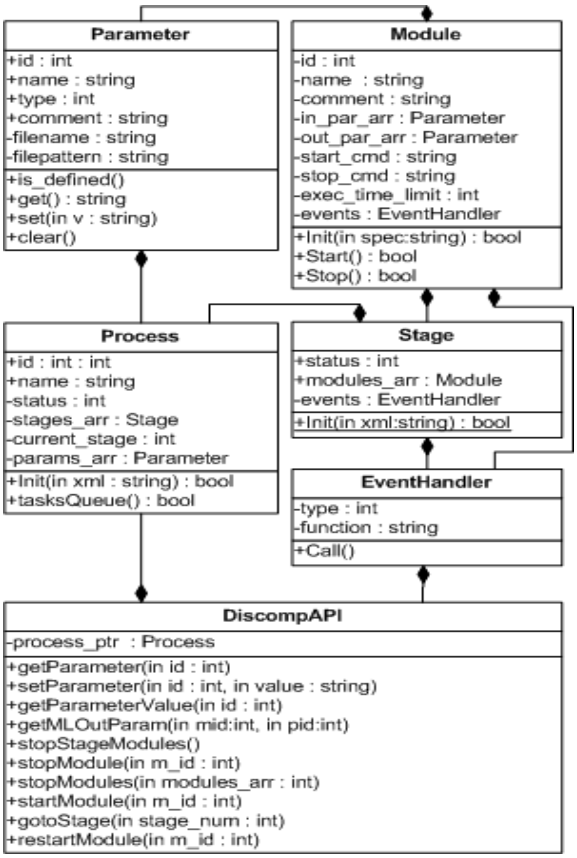


Рис. 4. UML-диаграмма классов объектов для внутреннего представления описания предметной области

Заключение. Характерными особенностями подхода к разработке пакетов прикладных программ, представленного в данной работе, являются: представление пакетных знаний на метаязыке XML; построение схемы решения задачи на основе процедурной постановки задачи; выполнение вычислительного процесса в режиме интерпретации; предоставление конечному пользователю программных средств управления процессом вычислений.

Инструментальный комплекс DISCOMP использован для создания ряда пакетов прикладных программ в гетерогенной многоплатформенной РВС [6, 7, 8]. Схемы решения задач в этих пакетах формируются с использованием описанных в статье языковых средств, с применением различных конструкций управления вычислительным процессом.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Опарин Г. А., Феоктистов А. Г. Инструментальная распределенная вычислительная САТУРН-среда // Программные продукты и системы. 2002. № 2. С. 27–30.
2. Опарин Г. А., Феоктистов Д. Г. САТУРН - метасистема для автоматизации конструирования и поддержки функционирования пакетов прикладных программ с автоматическим планированием вычислительного процесса // Пакеты прикладных программ. Итоги и применения. Новосибирск: Наука, 1986. С.12–21.
3. Гершуни Д. С. Планирование вычислений в системах жесткого реального времени (обзор и перспективы) // Вычислительная техника. Системы управления. 1991. Вып. 6. С. 4–51.
4. Спенеср П. XML проектирование и реализация. [Б. м.] : Лори, 2001. 510 с.
5. Пауэлл Т., Шнайдер Ф. Полный справочник по JavaScript. М.: Вильямс, 2007. 960 с.
6. Сидоров И. А., Феоктистов А. Г., Тятюшкин А. И. Распределенная информационно-вычислительная среда модульного программирования // Параллельные вычисления и задачи управления : тр. III междунар. конф. PACO’2006. М., 2006. С. 505–521.
7. Параллельная технология решения SAT-задач с применением пакета прикладных программ D-SAT / Заикин О. С., Семенов А. А., Феоктистов А. Г., Сидоров И. А. // Вестн. ТГУ. Прилож. Томск, 2007. № 23. С. 83–95.
8. Опарин Г. А., Богданова В. Г., Сидоров И. А. Интеллектуальный решатель задач в булевых ограничениях в распределенной вычислительной среде // Информационные и математические технологии в науке и управлении : тр. XII Байкал. Всерос. конф. – Иркутск, 2007. Ч. II. С.12–19.

Краковский Ю.М., Яхина А.С. УДК 519.6

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО РЫНКА ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСЛУГ

*Введение.*В настоящий момент используются различные подходы, направленные на оценку перспективных тенденций развития рынка образовательных услуг (РОУ). Традиционные подходы в большей степени ориентируются на моделирование процессов развития образовательной системы и прогнозирование на этой основе ее количественных показателей с учетом ожидаемых демографических тенденций и оценке потребностей в специалистах различных отраслей экономики. Наиболее известными работами в этой области служат разрабатываемые в США прогнозы образования и занятости [1]. Прогнозы образования охватывают такие показатели, как численность студентов по уровням образования, профессорско-преподавательский персонал, объемы финансирования и другие количественные индикаторы. В основе прогнозов занятости – такие показатели, как численность занятых, изменения в численности занятых, число самозанятых, среднегодовые объемы открывающихся вакансий. Эти данные представляются в разрезе уровней и категорий образования, требуемых для занятия соответствующих рабочих мест. Другим примером подобного рода является исследование влияния технологических и структурных изменений РОУ на перспективы занятости, проведенное институтом перспективных технологических исследований Европейской Комиссии.

Применительно к региональному РОУ можно отметить исследования [2,3], проведенные применительно к системе высшего образования Иркутской области. В этих работах были получены такие результаты по корректности моделей: а) по приему – полином второй степени и логистическая кривая, б) по приему (разнородная информация) – полиномиальная функция.

В данной работе, по сравнению с исследованием [2,3], увеличено число моделей и число прогнозируемых показателей (прием, выпуск, контингент), а также проведено статистическое исследование по проверке связанности показателей «Численность выпускников школ» и «Прием в Вузы (на очную форму обучения)».

Математическое описание задачи. Для прогнозирования показателей предлагается сглаживание и аппроксимация одним из типов функций:

1. Сглаживание;
- Метод простой скользящей средней;
- Метод взвешенной скользящей средней;
- Экспоненциальное сглаживание.
2. Аппроксимация функцией
- Полиномиальная $\left(y = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \ldots + a_n t^n\right)$;
- Экспонента $\left(y = ab^t\right)$;
- Модифицированная экспонента $\left(y = k + ab^t\right)$;
- Кривая Гомперца $\left(\log y = \log k + b^t \log a\right)$;
- Логистическая кривая $\left(y = \dfrac{a}{1 + b * e^{-k*t}}\right)$.

Для аппроксимации данных логистической кривой предлагается оценивание параметров при помощи регрессии (метод Родса) и использование модели линейного программирования с учетом мнений группы экспертов [4].

Для аппроксимации данных кривой Гомперца предлагается оценивание параметров на основе метода трех точек [5] и использование модели нелинейного программирования с учетом мнений группы экспертов [6].

Для проверки связности между показателями «Численность выпускников школ» n_t и «Прием в Вузы (на очную форму обучения)» x_t предлагается использовать t-статистику вида:

$$t_p = \frac{r_p \sqrt{m-2}}{\sqrt{1 - r_p^2}} \to t\,(v_0 = m-2),$$

$$r_p = r\left(1 + \frac{1 - r^2}{2(m-3)}\right),$$

$$r = \frac{\sum_{t=1}^{m} x_t n_t - \frac{1}{m}\sum_{t=1}^{m} x_t \sum_{t=1}^{m} n_t}{\sqrt{\left(\sum_{t=1}^{m} n_t^2 - \frac{1}{m}\left(\sum_{t=1}^{m} n_t\right)^2\right)\left(\left(\sum_{t=1}^{m} n_t^2 - \frac{1}{m}\left(\sum_{t=1}^{m} n_t\right)^2\right)\right)}}. \quad (1)$$

Статистика (1) проверяет гипотезу о наличии или отсутствии корреляции между рассматриваемыми показателями.

Дополнительно в работе проверена гипотеза однородности приема школьников в вузы на первый курс по годам (на очную форму обучения).

В качестве критерия предложена статистика Брандта-Снедекора (2)

$$\chi^2 = \frac{\sum_{t=1}^{m} x_t p_t - x\hat{p}}{\hat{p}(1-\hat{p})}, \quad (2)$$

имеющая χ^2 - распределение с (m-1) степенями свободы при условии:

$$m \geq 5, \quad x_t \geq 1, \quad n_t - x_t \geq 1. \quad (3)$$

Здесь m – количество периодов времени; n_t - число выпускников школ в t-ом году, $t = \overline{1,m}$, x_t - количество принятых в вузы на очную форму обучения в t-ом году, $t = \overline{1,m}$, $p_t = \frac{x_t}{n_t}$ - доля приема на очную форму обучения, $t = \overline{1,m}$, $\hat{p} = \frac{x}{n}$ - общая доля приема в вузы по всему рассматриваемому периоду, где $n = \sum_{t=1}^{m} n_t$, $x = \sum_{t=1}^{m} x_t$. Если $\chi^2 < \chi^2_{кр}(m-1,\alpha)$, то принимается гипотеза об однородности приема по годам.

Описание программного обеспечения. При разработке программного обеспечения важным фактором является его доступность. Поэтому работа с программным комплексом происходит в среде Windows, база данных спроектирована с использованием Interbase Server, обработка производится с помощью Microsoft Excel (не ниже Excel-2000).

В зависимости от выбранной модели аппроксимации тренда и вида экспертных суждений, формируется целевая функция и система ограничений. В этот момент к Excel подключается математический пакет Maple. После подключения становится возможен доступ из Excel к любой команде Maple.

Для активизации некоторых команд необходимо подключать соответствующие пакеты. Для решения задач линейной оптимизации используется пакет «simplex», а для нелинейной оптимизации – либо пакет «Student[MultivariateCalculus]» для решения задачи методом Лагранжа (в случае ограничений в виде равенств), либо пакет «Optimization» - в случае ограничений в форме равенств и неравенств.

Для прогнозирования показателей, значения которых должны выражаться в целых числах, предлагается использование метода ветвей и границ. Реализация его выполнена с использованием пакета «simplex», когда задача решается без условия целочисленности. Если полученное значение является целочисленным, задача решена. В противном случае задача разбивается на несколько других задач, для которых добавляется новое условие, позволяющее отсечь первоначально полученное нецелочисленное решение. Каждая из полученных задач снова решается с помощью пакета «simplex». Процесс продолжается до тех пор, пока не будет получено оптимальное целочисленное решение.

Результаты исследования. Исходные данные по годам, используемые при данном исследовании, приведены на рис. 1.

Из графического представления исходных данных видно, что в 2000-х годах наблюдалось среднее снижение числа выпускников школ, быстро росло число студентов на заочной форме обучения, наблюдалось резкое увеличение численности студентов в сравнении с численностью профессорско-преподавательского состава (рис.2).

Статистический анализ связности между показателями «Численность выпускников школ» и «Прием в Вузы (на очную форму обучения)» с применением статистики (1) показал отсутствие корреляции между этими показателями (табл. 1) (уровень значимости 0,05).

Таблица 1

Данные по корреляции

***t*-статистика**	
r	0,1174
r_p	0,1257
t_p	0,3583
$t_{кр}(0,05)$	2,45

В таблице 2 представлены результаты анализа по однородности приема с применением статистики Брандта-Снедекора (2), условия (3) выполнены.

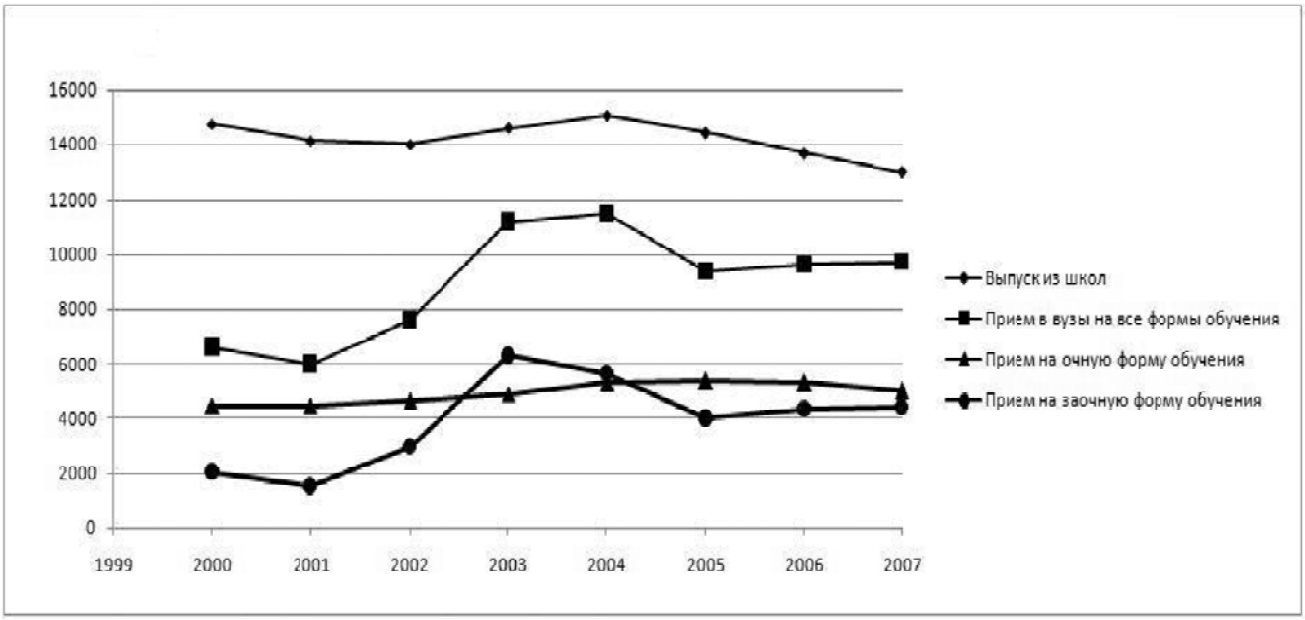


Рис. 1. Исходные данные

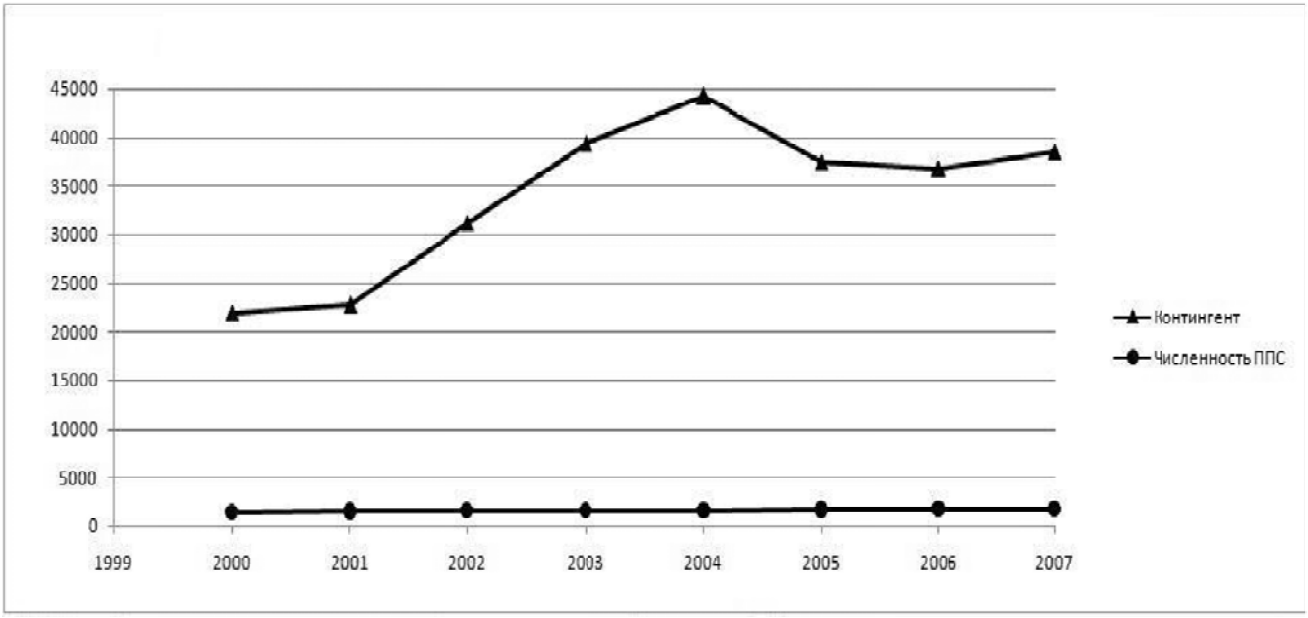


Рис. 2. Численность контингента студентов и численность ППС

Так как

$$\chi^2_{кр}(5,\,0.05) = 11{,}07 \quad > \quad \chi^2_p = 9{,}92\,,$$

то принимается гипотеза, что доля приема на очную форму обучения в период с 2002г по 2007г не зависимо от демографического спада однородна и в среднем равна 36%.

В таблице 3 приведены временные ряды по основным показателям РОУ для системы высшего образования Забайкальского края (для всех специальностей относительно очной формы обучения).

Результаты прогнозирования представлены в таблице 4.

Для прогнозирования представленных показателей в качестве аппроксимирующей кривой, использующейся совместно с экспертными оценками, выбраны или логистическая кривая (для случая роста показателя и приближения его к некоему предельному значению) или кривая Гомперца (для снижения показателя и приближения его к некоему нижнему предельному значению). Для получения экспертных оценок были подобраны 6 экспертов, все они имеют высшее экономическое образование и являются специалистами с опытом работы в государственных структурах, либо в крупных коммерческих предприятиях.

Таблица 2

Результаты анализа по однородности приема студентов

Год	Выпускники школ=n	Принято в Вузы=x	Доля приема=p	xp
2002	14001	5044	0,3603	1817,1513
2003	14585	5176	0,3549	1836,8856
2004	15053	5277	0,3506	1849,9122
2005	14424	5290	0,3667	1940,1068
2006	13679	4939	0,3611	1783,2971
2007	12987	4678	0,3602	1685,0454
Сумма	**84729**	**30404**	**0,3588**	**10912,3984**

Статистика Брандта-Снедекора	Критическое значение
9,92	**11.07**

Таблица 3

Временные ряды по основным показателям РОУ

Год	**1999**	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**
Прием	3844	4525	4531	4611	4895	5301	5441	5198	5071	4262
Контингент	13404	15160	16707	18005	19188	20248	20513	19989	19698	19010
Выпуск	1453	2350	2416	2693	3053	2620	3117	3143	3144	3072
Численность выпускников школ	14836	14744	14137	14001	14585	15053	14424	13679	12987	12001

Алгоритм работы с экспертными оценками для этих моделей описан в работе [6].

При прогнозировании в качестве представленных данных мы взяли период с 1999 по 2007 год, провели прогноз по каждому показателю разными видами моделей на 2008 год, а затем сравнили прогнозные значения с реальными значениями показателей за 2008 год.

Прогноз по «удачным» моделям в таблице 4 выделен жирным шрифтом.

Выводы.

1. Доля приема на очную форму обучения в период с 2002г по 2007г не зависимо от демографического спада однородна и в среднем равна 36%. За более большой период времени показатели «Численность выпускников школ» и «Прием в Вузы (на очную форму обучения)» оказались не коррелированными.

2. При прогнозировании приема наиболее подходящими оказались кривая Гомперца, модифицированная экспонента, полиномиальная функция (n=3), а также логистическая кривая с использованием экспертных оценок.

3. Контингент наилучшим образом аппроксимируют кривая Гомперца и полиномиальная функция (n=3), а также неплохие результаты дают экспоненциальное сглаживание, логистическая кривая с использованием экспертных суждений и модифицированная экспонента.

4. Для прогнозирования выпуска целесообразно использовать кривую Гомперца с учетом экспертных оценок, модифицированную экспоненту либо экспоненциальное сглаживание.

5. Предложенный подход к прогнозированию показателей РОУ на основе статистических данных и суждений квалифицированных в предметной области групп экспертов, способствует получению достоверных результатов прогноза развития региональной образовательной системы, что позволит органам управления осуществлять научно-обоснованные структурные изменения регионального рынка образовательных услуг, определять квалификационный потенциал региона для решения социально-экономических задач.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Соколов А. В. Долгосрочное прогнозирование тенденций развития образования методами Форсайт // Вопр. образования. 2004. № 3. С. 66–76.

Таблица 4

Результаты прогноза про приему студентов

№	Модель	Прогноз на 2008 год по Приему	Прогноз на 2008 год по Контингенту	Прогноз на 2008 год по Выпуску
1	Простая скользящая средняя	5205	19977	3127
2	Взвешенная скользящая средняя	5145	19818	3107
3	Экспоненциальное сглаживание	5071	19615	**3051**
4	Полиномиальная функция, n=2	5601	22173	3531
5	Полиномиальная функция, n=3	**4727**	**19147**	3142
6	Экспонента	5680	22783	3762
7	Модифицированная экспонента	**4984**	**19350**	**3061**
8	Кривая Гомперца (метод трех точек)	**4401**	**18992**	3202
9	Кривая Гомперца (с использованием экспертных оценок)	**4340**	**18998**	**3059**
10	Логистическая кривая (метод Родса)	5104	31326	3572
11	Логистическая кривая (с использованием экспертных оценок)	**4550**	**19240**	3270

2. Краковский Ю. М., Карнаухова В. К. Прогнозирование численности студентов с использованием экспертной информации // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. Иркутск, 2004. № 2. С. 136–141.
3. Краковский Ю. М., Карнаухова В. К. Методы анализа и обработки данных для мониторинга регионального рынка образовательных услуг М. : МарТ, 2007. 240 с.
4. Говорухин В., Цибулин Б. Компьютер в математическом исследовании. М. : Мир, 2006. 619 с.
5. Четыркин Е. М. Статистические методы прогнозирования. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Статистика, 1977. 200 с.
6. Краковский Ю. М., Яхина А. С. Прогнозирование показателей, характиризующих рынок образовательных услуг // Информационные технологии и проблемы математического моделирования сложных систем. Иркутск, 2008. Вып. 6. С. 46-52.

Елисеев С.В.

УДК 005.6:531

ВЗАИМОСВЯЗЬ КРИТЕРИЕВ КАЧЕСТВА И ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

В процессе поддержки распространения концепции системного подхода к управлению качеством Международной организацией по стандартизации (ИСО) в ноябре 2008 года была утверждена новая редакция стандартов ИСО 9001. В стандартах ИСО 9000 [1,2] обобщен накопленный в мировой практике опыт организации и создания эффективных систем качества. Семейство международных стандартов ИСО 9000 служит базой для построения стандартов систем качества, применяемых в широком диапазоне отраслей промышленности и в различных секторах экономики.

Стандарт ИСО 9001 определяет “требования к системе качества, используемой в тех случаях, когда поставщик должен подтвердить свою способность разрабатывать и поставлять продукцию, соответствующую, требованиям по качеству”. В стандарте указано, что “устанавливаемые требования направлены главным образом на достижение удовлетворенности потребителя за счет предупреждения несоответствия по качеству на всех этапах деятельности, начиная с проектирования и заканчивая обслуживанием”. Упомянутый стандарт является наиболее всеобъемлющим из всех документов, применяемых при работе по контрактам. И это вполне понятно, т.к. этот документ распространяется на поставщиков, которые осуществляют проектирование продукции или услуг, а не только их разработку, производство, поставку и последующее техническое обслуживание.

В стандартах качества ISO-9000 определены восемь принципов менеджмента, с помощью которых высшее руководство предприятия может улучшить деятельность организации: ориентация на потребителя; лидерство руководителя; вовлечение работников; процессный подход; системный подход к менеджменту; постоянное улучшение; принятие решений, основанное на фактах; взаимовыгодные отношения с поставщиками.

Структура серии стандартов ISO 9000 перекликается с принципами всеобщего менеджмента качества (TQM), положенными в основу стандартов серии. Существуют принципиальные отличия стандартов ISO 9001 версии 2008 года: особое внимание уделяется процессному подходу; приводится определение процедуры и процесса, схема менеджмента качества, основанной на процессном подходе.

I. Одним из принципов, положенных в основу стандартов ISO 9000 версии 2008 г., является принцип постоянного улучшения (непрерывного совершенствования). Процессный подход определен как один из факторов успешного функционирования предприятия в стандартах серии ISO 9000:2000. Эта организация определяет процесс, как “деятельность, использующую ресурсы и управляемую с целью преобразования входов в выходы”. Ориентация на результат является важным элементом управления проектами. Среди перечня критериев оценки результата, наиболее важным является удовлетворение требованиям потребителя.

Стандарт ИСО 9001 представляет модель создания продукции, известную под названием “Жизненный цикл, или петля качества”. Отметим, что в процессе создания продукция проходит через следующие этапы жизненного цикла: маркетинг и исследование рынка; проектирование и разработка продукции; снабжение; планирование и разработка технологических процессов; производство или оказание услуг; проверка; упаковка и хранение; продажа и распространение; монтаж и ввод в эксплуатацию; техническое содействие и техническое обслуживание; послепродажное обслуживание; утилизация и переработка продукции после окончания срока службы.

II. В общей форме порядок перечисления элементов в стандарте ИСО 9001 соответствует логической последовательности того, что должен

делать производитель в ходе создания продукции. Начав с формулировки политики в области качества (Параграф 4.1 стандарта ИСО 9001), необходимо изложить эту политику (4.2), установить желания потребителей (4.3), разработать продукцию или услугу (4.4), задокументировать разработку в виде чертежей или технических условий (4.5), приобрести необходимые материалы (4.6) и т.д.

В рыночной экономике проблема качества является важнейшим фактором повышения уровня жизни, экономической, социальной и экологической безопасности. Требования к качеству определены стандартами ИСО серии 9000. [2]. По мере развития экономических реформ, а в условиях мирового финансового и экономического кризиса, тем более, все большее внимание уделяется качеству. В настоящее время одной из серьезных проблем для российских предприятий является создание системы качества, позволяющей обеспечить производство конкурентоспособной продукции. Существует прямая зависимость между системой управления качеством, основанной на внедрение стандартов ИСО-9000, и системой обеспечения динамического качества, как составляющей всей, исходной системы. Эта зависимость, прежде всего, определяется выбором критериев качества, удовлетворение которым является необходимым условием нормального, конкурентоспособного существования и эксплуатации рассматриваемого производства. Очевидным становится необходимость разработки системного подхода, выполнение анализа технического состояния и управления динамическими параметрами системы, позволяющих обеспечить заданные показатели ее качества. Качество – согласно стандарта ИСО-9001 – определяется как «совокупность свойств и характеристик продукции или услуги, которые придают им способность удовлетворять обусловленные или предполагаемые потребности». Требования к качеству на международном уровне определены стандартами ИСО серии 9000. Эти стандарты определили однозначные требования к системам управления, обеспечения и менеджмента качества. Они положили начало сертификации систем качества и аккредитации производств и организаций. В обобщенной постановке современные методы менеджмента качества связывают с методологией TQM (Total quality management) – всеобщим менеджментом качества.

Определение TQM представлено в стандарте ISO 9001 "Управление качеством и обеспечение качества - Словарь": "Подход к руководству организацией, нацеленный на качество, базирующийся на участии всех членов организации и на достижении долгосрочного успеха путем удовлетворения требований потребителя и обеспечение выгоды для членов организации и общества".

III. Определение менеджмента всеобщего качества (TQM): "Способ менеджмента для повышения эффективности, гибкости и конкурентоспособности бизнеса в целом. Он в равной степени распространяется как на сферу услуг, так и на промышленность. TQM заставляет всю компанию быть организованной, в каждом ее подразделении, в каждом виде деятельности, каждого ее сотрудника на каждом уровне. Для того, чтобы организация был действительно эффективной, каждая ее часть должна работать совместно, поскольку каждый человек и каждый его поступок оказывают влияние на других и, в свою очередь, зависят от других." Приведенные определения отличают различные характеристики, подразумеваемые под TQM, в частности, то, что качество является центральной задачей менеджмента, требует участия всех, предполагает удовлетворение потребностей и ожиданий в будущем, рассматривает удовлетворение потребителя как путь к успеху, приносит выгоды сотрудникам и обогащает общество. В существующих редакциях TQM делается различное ударение на том, что иногда определяется как "мягкие" и "твердые" элементы TQM. "Мягкие" элементы относятся к созданию команды, подготовке и обучению сотрудников. "Твердые" элементы относятся к определенным методам, используемым для улучшения качества, что можно представить перечнем следующих характеристик:

– менеджмент всеобщего качества нацелен в будущее, и, в большей степени ориентирован на потребителя, чем на производителя;

– менеджмент рассматривает организацию, обслуживающую потребителя, как последовательность или сеть взаимосвязанных процессов;

– каждый процесс должен иметь четко идентифицированных поставщиков, владельцев процесса и потребителей; поставщики и потребители могут быть внутри одной компании;

– TQM делает ударение на непрерывном совершенствовании качества, причем как его уровня, так и класса; целью является ориентация на повышение ожиданий потребителя, а не просто их удовлетворение;

– улучшение обычно достигается в результате накопления относительно скромных отдельных шагов;

– поддержка непрерывного совершенствования требует долговременных обязательств и работы первых руководителей, подающих наглядный пример в работе для всех сотрудников;
– требуется, чтобы все члены организации вносили свой вклад, обычно работая в командах; особое значение имеют команды, собранные из представителей различных специальностей, которые согласуют между собой работу отдельных подразделений, образующих организационную структуру предприятия.
– команды могут работать эффективно только тогда, когда они имеют необходимую подготовку, и если их знания и навыки, которым они были обучены, используются в полной мере.
– TQM может развиваться только тогда, когда достигаемые успехи могут быть объективно оценены, идентифицированы и поощрены.
– TQM обязательно строится на фундаменте соответствующей эффективной системы качества.

IV. Стандарты ИСО серии 9000 обозначили единый подход к условиям по оценке систем качества и, одновременно, регламентировали отношения между производителями и потребителями продукции. Иными словами, стандарты ИСО предполагают жесткую ориентацию на потребителя. Это соответствует восьми известным принципам менеджмента качества. Качество у производителя и потребителя – понятия взаимосвязанные, поэтому производитель должен проявлять заботу о качестве в течение всего периода потребления продукта. Кроме того, он должен обеспечить необходимое послепродажное обслуживание. Особенно это важно для товаров, отличающихся сложностью эксплуатации, например, программных продуктов.

Качество изделия может проявляться в процессе потребления. Понятие качества продукта с позиций его соответствия требованиям потребителя сложилось именно в условиях рыночной экономики. Идея такого подхода к определению качества продукции принадлежит голландскими ученым Дж. Ван Этингеру и Дж. Ситтигу. Ими разработана специальная область науки квалиметрия. Квалиметрия – наука о способах измерения и квантификации показателей качества. Квалиметрия позволяет давать количественные оценки качественным характеристикам товара. Квалиметрия исходит из того, что качество зависит от большого числа свойств рассматриваемого продукта. Для того, чтобы судить о качестве продукта недостаточно только данных о его свойствах. Нужно учитывать и условия, в которых продукт будет использован. По мнению Дж. Ван Этингера и Дж. Ситтига, качество может быть выражено цифровыми значениями, если потребитель в состоянии группировать свойства в порядке их важности. Они считали, что качество – величина измеримая и, следовательно, несоответствие продукта предъявляемым к нему требованиям может быть выражено через какую-либо постоянную меру, которой обычно являются деньги. Вместе с тем нельзя рассматривать качество изолированно с позиций производителя и потребителя. Без обеспечения технико-эксплуатационных, эксплуатационных и других параметров качества, записанных в технических условиях (ТУ) не может быть осуществлена сертификация продукции. Разнообразные физические свойства, важные для оценки качества, сконцентрированы в потребительной стоимости. Важными свойствами для оценки качества являются:

- технический уровень, который отражает материализацию в продукции научно-технических достижений;
- эстетический уровень, который характеризуется комплексом свойств, связанных с эстетическими ощущениями и взглядами;
- эксплуатационный уровень, связанный с технической стороной использования продукции (уход за изделием, ремонт и т. п.);
- техническое качество, предполагающее гармоничную увязку предполагаемых и фактических потребительных свойств в эксплуатации изделия (функциональная точность, надежность, длительность срока службы).

V. Анализ теоретических исследований по созданию систем обеспечения динамического качества автоматизированных производственных процессов определил область существования критериев динамического качества и показал направления исследований, обеспечивающих достижение заданных динамических параметров. Проблема обеспечения заданного динамического качества является далекой от решения, что объясняется, прежде всего, ее сложностью и недостаточной изученностью. Эффективными способами обеспечения качества работы автоматизированных производственных процессов являются, например, оптимизация динамических параметров на этапе проектирования и применение виброзащитных систем и конструкций на этапе эксплуатации, диагностика и мониторинг технического состояния автоматизированных производственных процес-

сов. Поскольку требования, предъявляемые к динамическим процессам весьма разнообразны, может быть поставлена задача создания *совокупности показателей динамических процессов в* автоматизированных производственных процессах**.** Качество можно оценить через количественные измерения реальных свойств изделия, продукции, или технологической системы. Понятие « оценка качества» предполагает комплексную оценку не только функциональных потребительских свойств машины, устройства, изделия или технологической системы(динамические и кинематические характеристики- мощность двигателя, быстродействие, производительность, параметры колебательных режимов в стационарном и переходном состоянии, развиваемые силы), но и оценку ее технологических и эксплуатационных свойств (надежность, долговечность, ремонтоспособность). Очевидно, что в эту комплексную оценку вносят свой вклад характеристики стандартизации, унификации, экологичности, безопасности эксплуатации и другие свойства.

Для организации и эффективного управления качеством автоматизированных производственных процессов и обеспечения их динамического качества большое значение имеет их классификация по техническим признакам или принципам действия. Следует отметить, что исходным для классификации станков и оборудования являются параметрические показатели. К ним относятся такие динамические параметры, как мощность, работа, коэффициент передачи амплитуд, передаточное число редуктора, быстродействие, скорость и другие параметры. Влияние динамических параметров автоматизированных производственных систем на характеристики качества его работы определяется комплексом условий [1,2].

Динамические и статические силы, возникающие при работе станка, вызывают деформацию как всего станка в целом, так и его составляющих, определяя смещение инструмента по отношению к заготовке. Это вызывает недопустимое отклонение от заданных рабочих движений, повышенный износ, что непосредственно снижает качество. Снижения негативного влияния этих сил можно достичь увеличением статической и динамической жесткости. Однако это требование обеспечения качества не всегда оказывается выполнимым, что определяет выполнение других мероприятий, обеспечивающих сохранение заданного качества. Анализ вынужденных колебаний и процесса резания позволяет установить причину смещения инструмента по отношению к заготовке, определить возможность устранения нежелательных эффектов и достичь требуемого качества. Очевидно, что основным предметом исследования при этом становятся и свободные, и вынужденные колебания, а также автоколебания. Можно показать, что существуют различные пути обеспечения требуемого динамического качества формированием необходимых частотных характеристик объекта.

В качестве примера проанализируем наиболее приемлемые методы исследования динамики станков, а также влияние коррекции динамических параметров на качество виброактивной системы, составляющей основу автоматизированных производственных процессов. Очевидно, что улучшение динамических параметров (снижение вибрации) влияет на динамическое качество станка, приводит к снижению общего уровня вынужденных колебаний и автоколебаний [1].

Снижение динамической податливости станка, как правило, экономически неоправданно, так как связано с значительными затратами на конструктивные изменения системы. Кроме этого, увеличение жесткости связано с изменением соотношения масс и собственной частоты колебаний. Повышение демпфирования можно достичь введением в систему дополнительных демпферов (что увеличивает массу, а при учете жесткости системы это приводит к возможности динамического гашения колебаний). Применение пассивных демпферов ограничено ввиду того, что для достижения оптимального демпфирования они должны быть настроены на определенную частоту, поскольку их эффективность достигается в узкой полосе частот. Увеличение демпфирования введением активного демпфера, работающего при использовании дополнительного источника энергии, позволяет достичь требуемых параметров качества в более широкой области частот. Введение в систему статически податливого звена с высокой частотой собственных колебаний снижает вероятность появления автоколебаний, как одного из параметров при оценке качества виброактивной системы При этом статическая и динамическая жесткости всей системы снижаются, но максимальная (по модулю) действительная отрицательная часть также сокращается, что также влияет на параметры качества системы.

Одним из подходов при исследовании динамики станков являются методы декомпозиции. Всевозможные приемы декомпозиции при иссле-

дованиях динамики виброактивных систем и при моделировании изучаемой системы, объединены общей концепцией составной системы. Построение вычислительных схем осуществляется в едином абстрактном пространстве эквивалентных модельных графов исследуемых систем. Эта единая для широкого круга задач формализация обеспечивает высокую степень обобщения полученных результатов.

Теоретической базой для разнообразных декомпозиционных интерпретаций расчетных моделей при решении технических и экономических проблем различного содержания служат диакоптические идеи Крона и разработанная теория эквивалентных структурных преобразований абстрактных моделей в пространстве полных неориентированных и ориентированных статических и динамических графов.

Предварительный анализ влияния динамических характеристик виброактивной системы на параметры динамического качества приводит к следующим общим рекомендациям [2].

В статике достижение требований качества может быть выполнено при обеспечении высокой жесткости и исключении локальных деформаций. Для увеличения жесткости при изгибе следует выбирать по- возможности большее поперечное сечение и, кроме того, необходимо увеличивать толщину наружных стенок, соотнося возможные изменения с величиной момента инерции как критерием эффективности достижения требуемых динамических характеристик. Крутящий момент возникает, чаще всего, вследствие действия пары сил, что обусловливает искажение поперечного сечения. В свою очередь, этот дефект может быть устранен введением диагонального усиления, например, ребер жесткости.

В динамике предварительный анализ влияния динамических характеристик на оценку качества системы требует установления:

-влияния изменения конструктивных параметров (массы, жесткости, дополнительные ребра жесткости) на изменение первой резонансной частоты изгибных и крутильных колебаний;

-возможности исключения деформации поперечного сечения при крутильных колебаниях установкой дополнительных ребер жесткости;

-устранения колебаний стенок корпуса станка путем введения дополнительных ребер;

-оценки влияния на формирование требуемых динамических параметров при введении в состав колебательной системы виброактивных систем, работающих от дополнительных источников энергии, позволяющих сформировать необходимые силы, жесткости, форму частотных характеристик, требуемых параметров демпфирования (такие системы могут быть применимы для решения задач защиты оборудования и конструкций от вибраций и ударов [5]).

Технические показатели систем, оцениваемые их качественными и количественными параметрами, определяют возможную область применения, дают характеристику основных особенностей динамических систем станка. Указанные выше алгоритмы решения задачи и определяют взаимосвязь критериев качества и динамических параметров производственных систем как резервов повышения качества.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Малинский В. Д. Метрология, стандартизация и сертификация. М. : Европ. Центр по качеству, 2002. 190 с.
2. Капырин В. В., Коренев Г. Д. Системы управления качеством. М. : Европ. Центр по качеству, 2002.324 с.
3. Азаров В. Н., Лаохин Ю. Л. Интегрированные информационные системы управления качеством. М. : Европ. Центр по качеству, 2002. 64 с.
4. Крылова Г. Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии. М. : ЮНИТИ, 2003. 711с.
5. Динамический синтез в обобщенных задачах виброзащиты и виброизоляции технических объектов / С. В. Елисеев, Ю. Н. Резник, А. П. Хоменко, А. А. Засядко ; Читин. гос. ун-т. Иркутск : Изд-во ИГУ, 2008. 523 с.

Aihan Yin, Li Li, Aiyun Zhan, Xinliang Zhang УДК 004.73

ANALYSIS OF MODULATION FORMAT IN WDM-PON OPTICAL COMMUNICATION SYSTEM

I. Introduction

With the rapid development of the next generation of optical fiber transmission information system, 40Gbps optical fiber transmission system and its wavelength division multiplexing (WDM) system have been the focus of research. In order to enhance the capacity of the system and diminish the degradation of performance which would be caused by the loss of transmission, systems engineering and optimization would be important. Thereinto, the optical code-pattern would be the important factor which decides the spectrum efficiency, transmission quality and the dispersive tolerance of the system. Thus, the chosen of code-pattern is the first factor in the high speed optical transmission system [1-2].

The application of optical fiber transmission system and dense-wavelength-division-multiplexing (DWDM) system make the dispersive tolerance markedly decrease, and the non- linearity effect has an impact on the system performance. Traditional NRZ code-pattern would not have met the demand, while need other new modulation format. People propose many code-patterns in terms of 40Gb/s optical transmission system [3-11], such as RZ [3], and also propose the RZ of the carrier suppressive (CS-RZ), single sideband-RZ (SSB-RZ), duojdecimal-RZ (D-RZ), mend duojdecimal-RZ (MD-RZ) [4], RZ-DPSK [5-6], full spectrum return-to-zero (FSRZ) and chirp return-to-zero (CRZ). DPSK and RZ are better than NRZ in the term of anti-noise. RZ-DPSK is better than NRZ at the influence of anti-dispersive. CS-RZ, CRZ and the DPSK are better than NRZ in the term of nonlinear effect. SSB is better than NRZ in term of spectrum effectiveness. Recently, some code-patterns are appeared which include differential quadrature phase keying (DQPSK) [7], intensity modulation-DPSK (IM-DPSK) [8], and the Prefiltered CS-RZ [9]. NRZ-DPSK, RZ-DPSK and CS-RZ-DPSK use the phase change of the close codes showing the signal “0” and “1”. Their spectrums are smoothness and do not have any linear spectrum. IM-DPSK is to diminish the optical intensity change of close codes, in order to decrease the chatter and non-linearity. Differential quadrature phase keying (DQPSK) makes the phase change in the code of two bytes. Prefiltered CS-RZ is used to filter the CS-RZ in order to decrease the width of the spectrum and enhance the spectrum efficiency.

In the paper, take the 40Gbps for example, the way of modelization of NRZ, RZ and CS-RZ with computer analyzes the optical spectrum. The 40 Gbps signal transmitted in 200 km G.652 fiber by way of single channel with erbium-dope-fiber-amplifier (EDFA) is simulated for these three formats. Thus, we can get the better code-pattern with high spectrum efficiency and high tolerance for the optical noise and the non-linearity effect.

II. The principle and characteristic of the code-PATTERN

A. The principle of chosen code pattern

There are three principles for the modulation format that we should follow: firstly, the compact modulation signal spectrum is good at enhancing the operating factor of the spectrum and the dispersive tolerance of group velocity; secondly, a high non-linearity tolerance; thirdly, the structure of the transmitter and receiver are simple as soon as possible.

B. The principle of NRZ

We usually use the Mach-Zehnder modulator (MZM) and the consecutive wave (CW) laser in the modulation system. Except for the NRZ, their appearance would be performed by the two concatenation of MZM. These two concatenations of MZM play a different role. The first MZM is used to bring various pulses by the drive of the clock signal. The second one is used to load the data.

Figure1 is the frame of the NRZ signal of the optics. When transmitted the “1”in the NRZ, optical signal impulse occupies a whole bit-time; when there is no optical pulse, the signal is “0”. The realization of the coding is simple, only needing a high speed exterior modulator that can work effectively at the speed of 10Gbps. The advantage of NRZ is the simplicity of application, low cost and high spectrum efficiency, which can be used widely into the synchronous digital

hierarchy (SDH) and wavelength division multiplexing (WDM) system. Under the 10Gbps system and more less, we use the NRZ modulation model. The disadvantage of NRZ is that the transition doesn't return zero between two codes, the sensitivity for transmission loss. So it is not suitable for high speed and the extra long-distance transmission.

C. The principle of RZ and CS-RZ

Figure2 is the frame about the principle of the generation of RZ and CS-RZ, which is all composed by the two concatenation of MZM. The technology of RZ code prevails recently, which is used in the high speed of 40Gps optical transmission system. In the pulse sequence of RZ code, the transition area which connects "1" amplitude of electric field has the independent time envelope. Because modulation format of RZ has the different transition all the time in the code bits, thus it can bring more "neatness" optical signal in order to unscramble the receiver. The advantage of RZ is the low average of optical power; higher ability on anti-non-linearity effect and anti-polarization mode dispersion (PMD) [12]. RZ code is also more conducive to clock recovery. Because the consecutive "1" of NRZ is a whole, the eye pattern of RZ code stretches bigger, the better ability of anti-error-code performance, and provides the improvement on 3dB of the optical signal noise ratio (OSNR).

The CS-RZ code is based on the traditional RZ code, and join the phase separation of π in each adjacent sign bit (no matter the sign bit is "0" or "1"). The phase separation of the carrier can be regarded as the signal with a minus but the carrier is invariability. The typical value of this signal with positive and negative ambipolar is '0', so there is no pinnacle in the zero frequency because of without △ function (impulse function), after multiplying the according carrier, and there is also no pinnacle in the carrier. In the CS-RZ, because the sign about consecutive code of amplitude of electric field is reversed, we can get the low width of spectrum. With the high power, it not only increases the dispersive capacity, but also enhances the resist of the non-linearity of self-phase modulation (SPM) and four-wave-mixing (FWM), and so on.

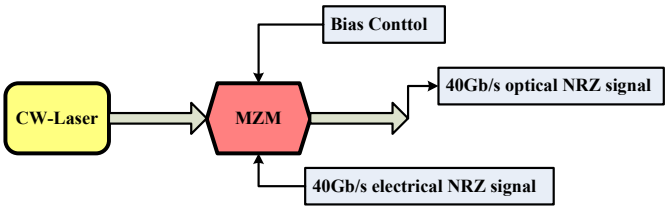


Fig. 1. Blocks diagram of NRZ

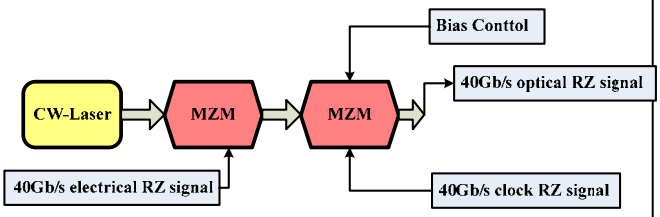


Fig. 2. Blocks diagram of RZ/CS-RZ

III. Code type wave shape and spectral analysis

A. The wave analysis of code type

At present, we often use MZM to produce modulation code; MZM is the coupler about two-interconnected-3dB. While a △L optical path difference is existed between two wave-guides, there can be phase modulation which produced by the two signals at the output. Such as the figure1, with the Mach-Zehnder interferometer (MZI) modulator modulating for CW laser lamp-house, the electric 40Gbps NRZ signal (2^7-1 pseudo-random binary sequence) would become 40Gbps NRZ optical signal. For the figure2, the first MZI has the same working theory as MZI of the figure1, only changing the electric 40Gbps of NRZ into RZ (dutyfactor is 0.5); the second MZI should be controlled by the sine-wave clock and voltage bias on two spur track of MZI, getting through to modulate the amplitude, frequency, phase and the voltage bias, then we can get the optical signal of RZ and CS-RZ.

Thus, we might as well input light field:

$$E_{in}(t) = |E_0| e^{j\omega_c t} \ . \qquad (1)$$

Passing the MZM, after the phase modulation, the light field would be:

$$E_{out}(t) = \frac{E_{in}(t)}{2}\left[e^{j\varphi_1(t)} + e^{j\varphi_2(t)}\right] , \qquad (2)$$

$$\varphi_1(t) = \frac{\pi}{2}\frac{1}{V_\pi}\left[V_{1m}\sin(\omega_1 t + \Psi_1) + V_1\right] , \qquad (3)$$

$$\varphi_2(t) = \frac{\pi}{2}\frac{1}{V_\pi}\left[V_{2m}\sin(\omega_2 t + \Psi_2) + V_2\right] , \qquad (4)$$

where the $V_{im}=\omega_i(=2f_i\pi)$, Ψ_i (i=1,2 are the amplitude, angular frequency, phase of the clock signal on two spur track of MZI separately. V_1, V_2 can provide the voltage bias on two spur track of MZI separately. When the single arm works causing the appearance of phase separation, V_π is the switch voltage from the max to the min. In order to make the MZM working at the station without chirp, we can add the voltage of two single arms to a fixed voltage bias. That is V_1 (t) $+V_2$ (t) $=V_{bias}$, thus the output of the light field is:

$$E_{out}(t) = E_{in}(t)\cos\left[\frac{\pi}{2V_\pi}(V_{in} - V_{bias})\right] e^{j\frac{\pi V_{bias}}{2V}} . \qquad (5)$$

The output of the light intensity is:

$$P_{out}(t) = P_{in}(t)\cos^2\left[\frac{\pi\left(V_{in} - V_{bias}\right)}{2V_\pi}\right]. \quad (6)$$

RZ code with the dutyfactor 50% can set the input of the electrical clock signal:

$$V_{in} = \frac{V_\pi}{2}\sin\omega_0 t \text{, the bias voltage is } \frac{V_\pi}{2}. \quad (7)$$

Then the light field and light intensity of RZ is by equation (3), (4):

$$E_{out}(t) = E_{in}(t)\cos\left(\frac{\pi}{2}\sin\omega_0 t\right), \quad (8)$$

$$P_{out}(t) = \frac{P_{in}(t)}{2}\left[1 + \cos\left(\pi\sin\omega_0 t\right)\right]. \quad (9)$$

With the above formula: the optical impulse cycle is $2\pi/\omega_0$, the angle frequency is ω_0, the full width at half maximum (FWHM) is π/ω_0.

CS-RZ code would be set the input of electrical clock signal, $V_{in} = V_\pi \sin\omega_0 t$, the voltage bias is V_π

$$E_{out}(t) = E_{in}(t)\cos\left(\frac{\pi}{2V_\pi}\left(V_\pi\sin\omega_0 t - V_\pi\right)\right)e^{j\frac{\pi}{2}}, \quad (10)$$

$$P_{out}(t) = P_{in}(t)\sin^2\left(\frac{\pi}{2}\sin\omega_0 t\right). \quad (11)$$

From the above formula: the optical impulse cycle is π/ω_0; angle frequency is $2\omega_0$; the FWHM is $2\pi/3\omega_0$.

B. Optical spectrum analysis of the code pattern

According to the above academic expression of various code-models, using the method of optical spectrum towards random signal in the communication theory, the power spectrum density of the random pulse sequence concludes two parts: consecutive spectrum $[P_u(\omega)]$ and linear spectrum $[P_v(\omega)]$.Through computing the power spectrum of NRZ code is:

$$P_E(f) = \frac{1}{2}T_s sa\left(\pi\left(f_c - f\right)T_s\right)^2 + \frac{1}{2}\delta\left(f_c - f\right), \quad (12)$$

$$P(f) = f_0\left\{\sum_{N=0}^{\infty} J_{2n+1}\left(\frac{\pi}{2}\right)\frac{(2n+1)f_0}{2\pi(f-f_c)\left[(f-f_c)^2 - (2n+1)^2 f_0^2\right]}\right.$$

$$\left.\times\cos\left[\frac{\pi(f-f_c)}{2f_0}\right]\right\}^2 + \sum_{1}^{\infty}\delta\left[f - f_c \pm (2n-1)f_0\right]. \quad (13)$$

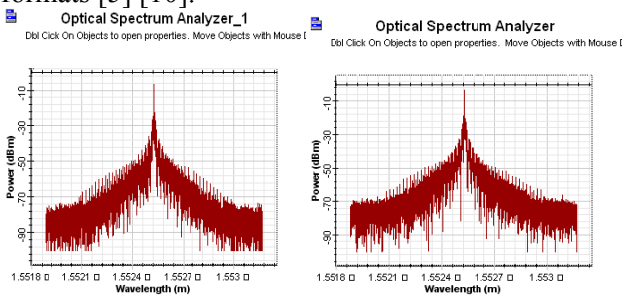
From the above analysis, the CS-RZ optical spectrum has a distance of stair linear spectrum that is 40GHz. There is no linear spectrum existed, which is caused by the change of π phase between the two pulses. The power spectrum of the RZ code is:

$$g(t) = e^{j\frac{\pi}{4}}\left\{J_0\left(\frac{\pi}{4}\right) + 2\sum_{n=1}^{\infty} J_{2n}\left(\frac{\pi}{4}\right)\cos(2n\omega_m t) - 2\sum_{n=0}^{\infty} J_{2n+1}\left(\frac{\pi}{4}\right)\sin\left[(2n+1)\omega_0 t\right]\right\}$$

$$+\delta\left(f - f_c \pm 2nf_0\right). \quad (14)$$

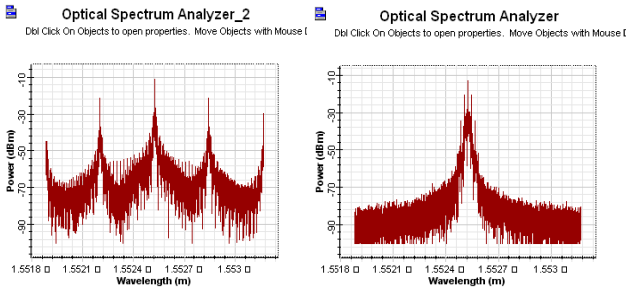
From the expression of the RZ optical spectrum, we can know the linear spectrum existed in the RZ optical spectrum.

From the formula, the FWHM of the NRZ signal is 25ps; the FWHM of RZ is 12.5ps and CS-RZ is 12.5ps, too. The figure below is the spectrum of modulation format; figure3 is the wave and the spectrum of NRZ; the spectrum width of NRZ is about 80GHz (the distance between secondary line spectrum); figure4 is the wave and the spectrum of RZ code, and spectrum width is 160GHz; figure5 is the wave and the spectrum of CS-RZ code, and spectrum width is 120GHz with no carrier wave. This section through comparing of NRZ, RZ and CS-RZ between the single pulse wave and the spectrum, getting the concrete transmission characteristic of various modulations formats [5] [10].



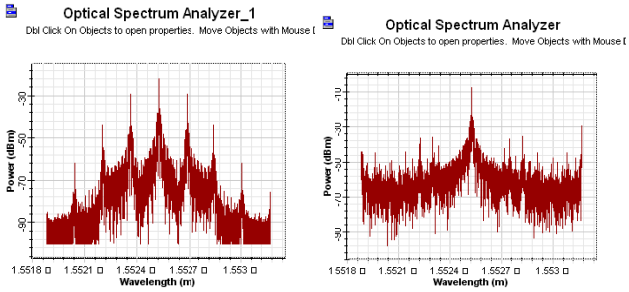
(a) Spectrum of NRZ (b) Spectrum of NRZ-DPSK

Fig. 3. Wave and spectrum of NRZ



(a) Spectrum of RZ (b) Spectrum of RZ-DPSK

Fig. 4. Wave and spectrum of RZ



(a) Spectrum of CS-RZ (b) Spectrum of CS-RZ-DPSK

Fig. 5. Wave and spectrum of CS-RZ

C. The analysis of spectrum by three kinds of modulation formats

The impulse width of NRZ is the biggest in these six kinds of modulation formats, so it is easy to occur intersymbol interference, sensitive to the transmission loss, infective to the non-linear effect, but the spectrum of NRZ is narrow which is good for decreasing the interference of inter-channel WDM system.

The dutyfactor of RZ code will reduce; impulse width is smaller than NRZ, which can restrain the non-linear effect of optical fiber, suitable to work in the high-power and long-distance transmission condition, but the spectrum of RZ code is wide, dispersive capacity decreases markedly, which is not good for management.

The impulse width of CS-RZ is smaller than NRZ; spectrum width is between the NRZ and RZ. The part of carrier wave is prohibited, thus it is not only becoming smaller and increasing the dispersive capacity, but also becoming stronger on the ability of resisting the non-linear effect.

The spectrum of NRZ is the most compactive in the one-lever sideband and baseband, which result in the cost of eye pattern stretch becoming smaller comparatively caused by the wave variation and the interference. Because NRZ spectrum contains the residual carrier element, it would be affected by the FWM interference in the low dispersive optical fiber.

The spectrum of RZ has the linear spectrum obviously in the one-lever sideband and baseband; one-lever sideband will overlap in the adjacent channel of WDM system which has minor interval. So it can arouse badly interference between the adjacent channels. Then its optical spectrum width is bigger than NRZ and CS-RZ so as not to assure the optical efficiency in the receiver.

In parallel to NRZ, the optical spectrum shape of CS-RZ is prohibited in the frequency element of carrier wave. But the two interval linear-spectrums with a period of a byte frequency are appeared, which is 40GHz in this article. When the frequency interval of WDM channel is bigger than 100GHz, this characteristic can diminish the loss of FWM, but it can result in serious loss of FWM when the frequency interval is 75GHz. The spectrum width of CS-RZ is between NRZ and RZ.

In the baseband and first-order sideband which don't conclude the linear-spectrum-element, three kinds of DPSK signals have no pinnacle because of itself characteristic, which can prohibite the non-linear effect in the optical fiber such as FWM and SRS. In terms of the spectrum shape, there are some successive performance between the NRZ-DPSK and NRZ, RZ-DPSK and RZ, CS-RZ-DPSK and CS-RZ. The spectrum width of NRZ-DPSK is the smallest, CS-RZ-DPSK is the following and RZ-DPSK is the biggest.

IV. The analysis of transmission performance

A. The performance of anti-dispersive code format

Different codes have different spectrums; the widths of various spectrums determine the dispersion which has different effects. Dispersion is the width of the pulse wave caused by diverse waves transmitted in the optical fiber differently. When the pulse width comes to some extent, it appears the inter-codes interference badly. Towards the transmission system of 40Gbps, we should consider the anti-dispersion characteristic of different codes [13]. Such as figure5, it is compared the anti-dispersion characteristic of DPSK and RZ, NRZ. With the same input power, the peak value power of RZ is two times of NRZ, thus after the transmission of optical fiber, the RZ power can converge intensely, but the power of NRZ is dispersive, using the RZ code is good for enhancing the acceptable sensitivity so as to decrease the requirement of OSNR in the transmission system. We can conclude the optimal optical anti-dispersive performance of RZ-DPSK.

B. The anti-PMD ability of code format

In the standard single-mode optical fiber, the base mode is composed by a couple of vertical polarisation modes. Only when it is located in the round symmetry with refractive index, the half of the whole optical power of each-mode carrier transmits in the same speed and arrives at the optical port simultaneity and becomes the single mode. Because the practical fiber with different refractive indexes is not isotropy, the speed of mode will be influenced. It can be transmitted with different speeds to cause the dispersion of the signals. This phenomenon is called polarization mode dispersion. PMD has a little effect on the speed under 10Gbps, which it isn't basically considered. Considering the 10Gbps and the above speed, the less-extrusive polarization mode dispersion can become the key factor of limiting the performance of system [14]. When the speed of the single channel comes to 40Gbps, polarization mode dispersion would emerge the high-level effect obviously, which has an effect on the transmission performance of the system severely. Assumed the power of PMD to be 1dB, 10Gbps non-electric relay system has the maximum transmission distance 200km, thus correspondingly the system of 40Gbps is only 25km, so the linear modulation code should be considered the ability of anti-PMD dispersion effect. The anti-PMD performance of each code compares below, such as figure7. Through the com-

parison we can get the conclusion that RZ code has the best ability of anti-PMD.

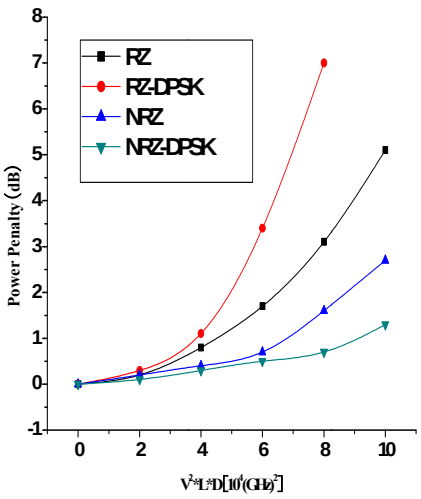


Fig. 6. The contrast of some different modulate methods

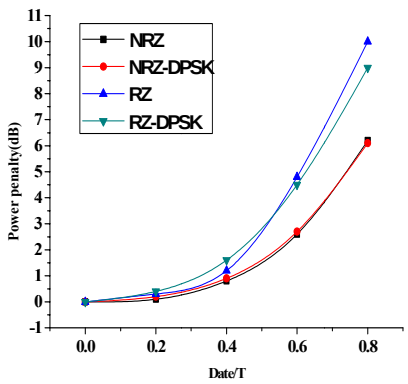
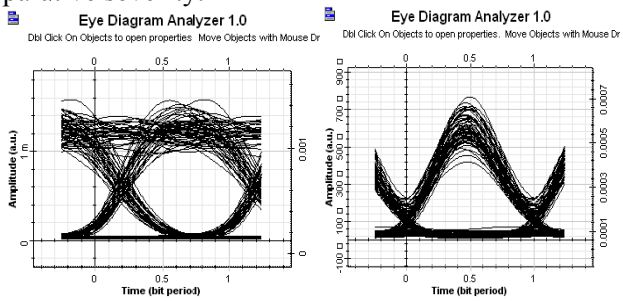


Fig. 7. The contrast of anti-disperse of PMD

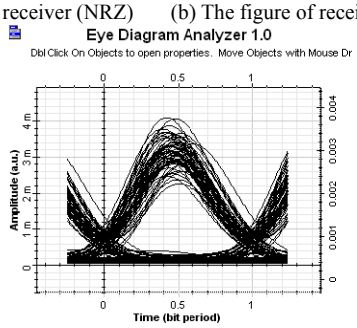
V. The format of transmission system and the results of simulations

Make the system configuration of simulations. Transmitter uses the CW laser, which is with the wavelength of 1550nm. With the input MZM of NRZ electrical signal generates the optical NRZ and can be sent to circuitry; The CS-RZ is composed by two MZM concatenation; the first one produces the NRZ and be sent to the second level; From the output CS-RZ of the second level and the second MZM modulator, RF port transmits the sin clock signals when the transmission speed is the half of the whole. The transmission speed is 40Gbps and the signal sequence is 2^7-1. The transmission optical fiber is composed by the five different single- mode fibers (SMFs) with the length of 50km, and the whole length is 250km. The dispersion compensation uses the dispersion compensation fiber (DCF). The parameter of SMF and DCF is showed in table1. The various simulations of codes are showed in figure8.

The best remaining dispersion of NRZ is 10ps/nm; dispersion capacity of 1dB Q value is 60ps/nm. Due to the bad performance of the system, when the Q value is 16.9dB (BER=10^{-12}), the remaining dispersion scope is 45ps/nm. When using the CS-RZ code, the best remaining dispersion is -15ps/nm, and the dispersion capacity of 1dB Q value is 60ps/nm, which is the same as NRZ code. But when the Q is 16.9dB with the good performance of system, the scope of the remaining dispersion is 100ps/nm. No matter we use the NRZ or CS-RZ, the dispersion capacity of the system is also extraordinary small. Thus, accurate dispersion management is absolutely necessarily in the 40Gbps transmission system. We can get the eye pattern through the computer simulations which are showed in the figure8. When the Q is 6 from the eye pattern of the receiver, we can get the same pattern between RZ and CS-RZ, because they are also the RZ, and the difference is only the dutyfactor between the two. The dutyfactor of CS-RZ is bigger than the RZ, and the upper jitter of NRZ is comparative severity.



(a) The figure of receiver (NRZ) (b) The figure of receiver (RZ)



(c) The figure of receiver (CS-RZ)

Fig. 8. The figure of receiver (Q=6)

VI. Conclusions

In this article, it produces 40Gbps optical signals of three modulation formats through computer simulation and compares its wave shape and optical spectrum. Then the performance of dispersion compensation is simulated through the no-zero dispersion shifted fiber by single-channel transmission mode. We can get the results: The ability of anti-nonlinear and anti-PDM of RZ and CS-RZ is stronger than NRZ under the complete dispersion compensation condi-

tion. We can enhance the quality of transmission through appropriate dispersion compensation. In the future we can expand more workings on the research from the following aspects to go along the research on the new code: carry on the research on the non-linear phenomena in the high-speed optical fiber transmission and get the way to restrain them. Do our more research on the dispersion management for the better transmission performance.

Item name	SMF	DCF
Attenuation(dB/m)	0.275	0.625
Disperse (ps/(nm*km))	17	-85
Disperse slope (ps/(nm^2*km))	0.058	-0.029
Available area (μm^2)	80	14.4
Non- linearity index (10-20□/W)	2.5	3.2

Table 1

The parameter of SMF and DCF

VII. Acknowledgement

This work was supported by the Jiangxi Provincial Department of Education GJJ08242, the fund of Jiangxi Provincial Postgraduate Innovation Project YC08B027 and fund of East China Jiaotong University 06ZKXX03.

REFERENCES

1. Intrachannel four-wave mixing in highly dispersed return-to-zero differential-phase-shift-keyed transmission with a nonsymmetric dispersion map / Xing Wei, Xiang Liu, Steven H. Simon, C. J. McIntyre // Optics Letters. 2006. № 31 (1). P. 29–31.
2. Keang-Po Ho. Exact analysis of a balanced receiver for differential phase-shift keying signals // Optics Letters. 2007. № 32 (5). P. 472–474.
3. Takashi Mizuochi, Kazuyuki Ishida, Tatsuya Kobayashi. A Comparative Study of DPSK and OOK WDM Transmission Over Transoceanic Distances and Their Performance Degradations Due to Nonlinear Phase Noise // Journal of Lightwave Technology. 2003. 21 (9). C. 1933–1943.
4. Jin-Xing Cai, Morten Nissov, Carl R. Davidson. Long-Haul 40Gb/s DWDM Transmission With Aggregate Capacities Exceeding 1 Tb/s // Journal of Lightwave Technology. 2002. № 20 (12). P. 2247–2258.
5. Chris Xu, Xiang Liu, Linn F. Mollenauer. Comparison of Return-to-Zero Differential Phase-Shift Keying and ON-OFF Keying in Long-Haul Dispersion Managed Transmission // IEEE Photonics Technology Letters. 2003. № 15 (4). P. 617–619.
6. Takanori Inoue, Kazuyuki Ishida, Eiichi Shibano. Experimental Comparisons of DPSK and OOK in Long Haul Transmission with 10Gb/s Signals, DMF Span and Raman Assisted // EDFA. OFC. 2005.
7. Michael Ohm, Torsten Freckmann.Comparison of Different DQPSK Transmitters with NRZ and RZ Impulse Shaping // IEEE Workshop on Advanced Modulation Formats. San Francisco. 2004. P. 7–8.
8. D. Kovsh, E. A. Golovchenko, A. N. Pilipetskii. Enhancement in Performance of Long-Haul DWDM Systems via Optimization of the Transmission Format // OFC. 2002. P. 361–362.
9. Takehiro Tsuritani, Akira Agata, Itsuro Morita. Ultra-Long-Haul 40-Gb/s-Based DWDM Transmission Using Optically Prefiltered CS-RZ Signals // IEEE Journal of Topics in Quantum Electonics. 2004. № 10 (2). P. 403–411.
10. T. Tsuritani, K. Ishida, A. Agata.70-GHz-Spaced Transpacific Transmission Over 9400km Using Prefiltered CSRZ-DPSK Signals, All-Raman Repeaters, and Symmetrically Dispersion-Managed Fiber Spans // Journal of Lightwave Technology. 2004. № 22 (1). P 2231–5538.
11. Sven Kieckbusch, Sebastian Ferber, Harald Rosenf. Automatic PMD Compensator in a 160-Gb/s OTDM Transmission Over Deployed Fiber Using RZ-DPSK Modulation Format // Journal of Lightwave Technology. 2005. № 23 (1). P. 165–172.
12. Zhang Qi, Chen Ming-hua, Chen Hong-wei, Zhang Ji-yu. Adaptive PMD compensation experiment in 40 Gb/s CSRZ system // Optoelectronics Letters. 2007. № 3 (3). P. 207–210.
13. Mikio Yagi, Shuichi Satomi, Shinya Tanaka. Field Trial of Automatic Chromatic Dispersion Compensation for 40-Gb/s-Based Wavelength Path Protection // IEEE Photonics Technology Letters. 2005. № 17 (1). № 229–237.
14. Xiaoguang Zhang, Yuan Zheng, Yu Shen. Particle Swarm Optimization Used as a Control Algorithm for Adaptive PMD Compensation // IEEE Photonics Technology Letters. 2005. № 17 (1). P. 85–9.

Zhou Liping

УДК 811.111:378

ON IMPROVING STUDENTS' MEMORY IN ENGLISH LEARNING

1. Introduction

It is known that cultivation of students' memory in English learning is also the process of their competence improvement. Students play positive roles in various learning activities. Their excellent memory comes from daily practice. Therefore, teachers can cultivate and improve students' memory in English learning according to the principle of memorization and students' psychological characteristics. The American famous speaker, Dyer, made successful achievements which are related to his exceptional good memory. That is to say, excellent memory leads to accumulation of knowledge, human being's process of cognitions, even the innovation of knowledge and social civilization. Actually in daily teaching, some teachers might not attach enough attention in training students' abilities of how to memorize words and texts efficiently. It is necessary for teachers to study the topic-- memory cultivation, so as to improve their teaching efficiency.

2. The significance of cultivating memory in English learning

Nowadays English teachers face many teaching problems. The first is how to instruct students to memorize materials as much as they could. This is not only for English teaching and learning but also for other development of students themselves as well.

2.1. The demand for English teaching. As we know, English teaching procedure is a process of students' memorization for words, texts and regulations. In teaching, teachers should prepare and lecture various types of new materials. Finally these materials will be changed into students' knowledge. The best way of transformations is to encourage students to memorize contents as much as possible. As a result, students can master more knowledge and the teaching efficiency will be higher.

2.2. The demand for the full development of students themselves. Our educational system emphasizes that students should be developed in morality, intelligence and physiques. This has been played an important role in students' characteristics forming. If students have a good memorial habit, it will take benefit for their study as well as their future developments.

3. Implementation of six teaching methods

After the explanation of the significance of cultivating memory, we will discuss the issue of how teachers perform proper methods to train students memorial abilities. In the following sections, six teaching and learning methods in improving students' memorial skills in their English learning will be implemented and discussed.

3.1. The method of reciting. In English teaching, students are required to recite a plenty of words, texts and principles. Sometimes these materials are rather dull and complex. In general, to recite by rote doesn't take good effect though the materials come from pattern drills, texts and a certain background. If teachers process and induce them properly, students can deal with some questions skillfully, only by reciting some key points and sentences.

In daily teaching, teachers can give students some homework to recite, combining with some other exercises. For instance, when finishing Unit One " College Life" (Experiencing English 1), the passages have been made as their reciting materials. Meanwhile an essay with the topic of " My Life at ECJTU" can be assigned to students. Students will write the essay according to the model passages they have recited. In this way, they can do very well in both reciting and writing. Even for some students, who have comparatively lower skill, can conduct much better jobs, which will brings them self-confidence in learning. Karl Marks began to learn Russian in his fifties and master it owing to his wonderful recitation. It has been an important teaching method to encourage students to recite a lot.

3.2. The method of understanding. According to V. B. Belyayer (1998:272), memorial procedure refers to a complicated psychological process. It includes two respects: memorizing and understanding. Students feel exhausted with materials memorized by mechanical memory. "Soon learnt, soon forgotten". On the contrary, intelligent memory plays an active part in our memorization. In case at the beginning, teachers find out internal relations among materials,

guide students to memorize with comparison and understanding, they will get much better result.

This method is fit for grammar teaching. Compare with the following two sentences:

(1) I used to swim in the sea.

(2) I am used to swimming in the sea.

Sentence (1) expresses a discontinued habit or a past situation which is contrast with the present. "used" is followed by the full infinitive. Sentence (2) means "After I have swum in the sea for a while, I never worried about my safety". "used" can also be an adjective meaning "accustomed". It is then preceded by be, become or get in any tense and followed by the preposition "to + noun / pronoun or gerund".

3.3. The method of repeating. It is impossible for some students to keep the materials for a long time in their mind by memorizing once. The efficient way to do this is to memorize again, to review. H. Ebbinghaus, German psychologist, analyzed that memorial process is accompanied with the beginning of forgetting. At first, the memorized information is forgotten very fast, gradually, the forgetting speed slows down, finally almost all are forgotten if not being reviewed in time. To avoid forgetting, repeating and reviewing are necessary.

For some students, no new words and expressions can confuse them. They have marvelous knacks: words and expressions are written on a pocket notebook. In spare time, before meals, or sleep, even in toilet, recitation and review are undertaken. Being teachers, such knacks should be taught to the students and unimaginable results may obtain. The method of repeating has been one of the most important traditional way of memory.

3.4. The method of associating. As for a certain topic, teachers should encourage students to associate freely. The method not only trains students' imagination but also helps them expand the vocabulary. Seeing the following figures:

Carelessness (n. negative) careful (adj.) → carefulness (n.)

Careless (adj. negative) ← care (v.)

Carelessly (adv. negative) carefully (adv)

Using prefixes and suffixes, students can learn all forms of "care". There are some words like fear, power, hope, etc. that teachers can instruct students to do the following examples:

Example 1: good-bad, high-low, thick-thin, etc.

Example 2: long-length-lengthen, strong-strength-strengthen,

deep-depth-deepen, etc.

After induction, deduction and comparison, students could understand and memorize these words well. With the help of a series of reasonable methods, students can make more progress in memory cultivation.

3.5. The method of amusing. There are some materials quite complicated and incomprehensible in teaching. Although having utilized all kinds of methods, students may pay more but get less. Suppose teachers prepare teaching materials as a game, adding amusement to it, the teaching might reach an unexpected result, as Chinese saying "Kill two birds with one stone."

After each unit teaching, teachers might sort out the mistakes in students' homework together and can arrange a "correcting mistakes" class with amusement. For example, all students stand up and ask a certain question. The one who answers "right" might continue and the "wrong" sit down. The last to sit down win the game. Such activity will make the class interesting and let the class performing in amusing atmosphere. Students are able to remember the points in a funny way.

Similarly, teachers can supply some other activities as English rhymed formulas or memory methods as well as English songs, tongue twisters, poetries, etc. Here is a rhymed formula to help students memorize the principle of changing cardinal numbers into ordinal numbers:

"eight cuts T (eight-eighth)

nine cuts E (nine-ninth)

F replaces V and E (five-fifth)

Y changes into I E (twenty-twentieth)

TH never forget me (Ordinal number is ended by "th".)

3.6. The method of applying. Students memorize materials in order to apply them lately. This reflects the function of language communication. By means of application, students can check out the completion, accuracy and practicality of their knowledge.

For this purpose, teachers can require students to finish their homework by themselves, to think carefully and to summarize passages frequently. Each passage needs a short summary, each unit for a long summary, every semi-term a simple summary, every term a specific summary. Monthly a short essay or oral practice may be assigned for students, by which they can discuss and develop their creation and organization. For example, when the passage "Voluntary Works" being finished, we can give students oral practice with the topic of " how to be a helpful volunteer?". Students can describe it fluently with environmental knowledge according to the text. When the passage "On Learning Strategies" (Experiencing English 1) being completed, an essay about "Design some of your own learning strategies" can be given to students. Consulting with the words, expressions and

sentences in the text, students can write and memorize the essay and the passage at the same time.

In addition, teachers can also make students write English letters, resumes birthday or new year cards to apply and practice what they've learned. If they lack some knowledge in a certain area, they are able to renew and input them immediately through application. This forms a good circle of input and output of knowledge. Application is the source of memory.

4. Conclusion

Generally, this paper has discussed the issue of students' memorial cultivation during their English learning, and has put forward six teaching methods for improving students' memorial competence. The discussion has expounded the memorial principle and students' psychological characteristics. Combining the two aspects, the implementation of the methods are explained in detail.

It is not easy to train students memory in teaching and learning. Firstly, the teaching subjects and students have predominated their own peculiarity. Secondly, each teacher has different experiences, teaching methods and requirements which will affect their teaching efficiency. Even for these factors, teachers have still many methods to stimulate this kind of quality. In teaching, teachers should lay stress on these training methods and encourage students to form a good habit of memorization, and then also try best to use various means to make class actively. With perceptible influence of the new teaching method, our educational system will be more and more perfect and efficient.

REFERENCES

1. An Action Research on Helping Students of Special Majors Becoming Autonomous Learners through Formative Assessment, Journal of Irkutsk State Transport, University, NO.2(18), 2008
2. Research on Teaching Assessment System for Foreign Teachers in Colleges, Journal of East China Jiaotong University, Vol.24 No.6, Dec., 2007
3. Research on Credit-Transfer System---Important Factor of Education Globalization, Jiangxi Provincial Education Research Project, Dec. 2005

Fu Qin-cui, Liu Zi-ying, Fu Ke-jia

УДК 004.45

RESEARCH OF IEC60870-5-104 PROTOCOL AND DESIGN OF COMMUNICATION SOFTWARE BASED ON FINITE STATE MACHINES

1. INTRODUCTION

IEC 60870-5-101 is an international communication protocol standard for the telecontrol of electric power transmission systems, which is being widely adopted in many countries throughout the world. The standard specifies the use of permanent directly connected links between telecontrol stations, such as conventional PSTN modem and leased-line. There is now a growing desire to use the 60870-5 Standards to communicate between telecontrol stations via Internet services. A companion standard called IEC 60870-5-104[1] (thereinafter referred to as the 104 protocol) has been published by the IEC for this purpose.

Presently, people make a deep study of the application of the 104 protocol and have obtained a certain success. But on the software design, there is not a relatively universal design pattern. This paper puts forward a kind of design method used for the realization of the 104 protocol based on Finite State Machines (FSM). In this method, the 104 protocol is modeled via the FSM theory. In addition an object-oriented FSM implementation framework is produced. And then a tool is presented that automates the configuration of the framework. The tool effectively enables developers to create FSMs from a specification.

The remainder of this paper is organized as follows: In Section 2, the IEC 60870-5-104 protocol is introduced. In Section 3, the idea of analyzing with FSM is discussed. In Section 4, the design and im-

plementation for the protocol are presented. In Section 5, assessments are made about the design.

2. INTRODUCTION OF IEC 60870-5-104 PROTOCOL

2.1. The protocol structure

The name of the IEC60870-5-104 standard is 'Network access for IEC60870-5-101 using standard transport profiles'. Fig. 1 shows the protocol structure. As shown in the structure, every telecontrol station conforming to the IEC 60870-5-104 standard has an Internet Transport Interface between its Application layer and the layers below. The interface and the lower layers are defined by the appropriate Internet standards. These include the Transmission Control Protocol (TCP), for the Transport layer immediately below the Transport Interface.

<table>
<tr><td>Selection of application functions of IEC 60870-5-5 according to IEC 60870-5-101</td><td>Initialization</td><td>User process</td></tr>
<tr><td colspan="2">Selection of ASDUs from IEC 60870-5-101 and IEC 60870-5-104</td><td rowspan="2">Application (layer 7)</td></tr>
<tr><td colspan="2">APCI (Application Protocol Control Information)
Transport Interface (user to TCP interface)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Selection of
TCP/IP protocol suite (RFC 2200)</td><td>Transport (layer 4)
Network (layer 3)
Link (layer 2)
Physical (layer 1)</td></tr>
<tr><td colspan="3">NOTE Layers 5 and 6 are not used.</td></tr>
</table>

Fig. 1. The protocol structure of the IEC60870-5-104 protocol

2.2. The addition of APCI to the Application Layer

Some Application Protocol Control Information (APCI) is added to each Application Service Data Unit (ASDU) so as to obtain an Application Protocol Data Unit (APDU) that is suitable for Internet transportation.

The APCI starts with a fixed octet (value = 68 Hex) followed by an octet specifying the length of the rest of the APDU and the four control field octets.

There define three types of control field formats: used to perform numbered information transfer (I format), numbered supervisory functions (S format) and unnumbered control functions (U format).

I format APDUs always contain an ASDU, carry Send and Receive Sequence Numbers, used to perform numbered information transfer;

S format APDUs consist of the APCI only, do not include an ASDU, carry only Receive Sequence Number, used to acknowledge the APDUs in case of no I format APDUs response;

U format APDUs also consist of the APCI only, used for control purposes only, including start/stop of message transfers and supervision of transport connections.

The use of the control fields is similar to the method defined in the X.25 protocol. The associated control procedures are also copies of those used by X.25.

2.3. Protection against loss and duplication of messages

In fact, the purpose of the APCI and associated procedures is to ensure that Application messages, each consisting of an individual APDU, are not lost or duplicated.

Both sequence numbers are sequentially increased by one for each APDU and each direction. The transmitter increases the Send Sequence Number N(S) and the receiver increases the Receive Sequence Number N(R). The receiving station acknowledges each APDU or a number of APDUs when it returns the Receive Sequence Number up to the number whose APDUs are properly received. The sending station holds the APDU or APDUs in a buffer until it receives back its own Send Sequence Number as a Receive Sequence Number which is a valid acknowledge for all numbers <= the received number. Then it may delete the correctly transmitted APDUs from the buffer. In case of longer data transmission in one direction only, an S format has to be sent in the other direction to acknowledge the APDUs before buffer overflow or time out. This method should be used in both directions. After the establishment of a TCP connection, the send and receive sequence numbers are set to zero.

The mechanism of duplication in fact is to timeout, then close, and then to retransmit. For TCP is a connection-oriented transport, once the TCP connection is established, it is maintained until any sides of the two communication parties perform the terminating operation. So the 104 protocol uses timeout to detect the status of TCP connection to ensure steady, reliable data transport. There are four timeouts defined in the 104 protocol, including:

t0: Time-out of connection establishment

t1: Time-out of send or test APDUs

t2: Time-out for acknowledges in case of no data messages (t2 < t1)

t3: Time-out for sending test frames in case of a long idle state.

3. IDEA OF ANALYZING WITH FSM

Finite state machines [2] provide a powerful way to describe the dynamic behavior of systems. A common example of such a system is a communication protocol. The IEC 60870-5-104 protocol for instance can be represented by a FSM. FSMs are also used in object-oriented modeling methods such as

UML. Experts from the software industry advocate use of state machines.

In this paper the following definition of a state machine will be used. A state machine consists of states, events, transitions and actions. Each state has a (possibly empty) state-entry and a state-exit action that is executed upon state entry or state exit respectively. A transition has a source and a target state and is performed when the state machine is in the source state and the event associated with the transition occurs. For a transition t for event e between state A and state B executing transition t (assuming the FSM is in state A, e occurred) would mean: (1) execute the exit action of state A, (2) execute the action associated with t, (3) execute the entry action of state B and (4) set state B as the current state.

There are four steps when we design a FSM:

1) Accurate understanding of problems: It is to use ordinary descriptive language to describe the behavior of a FSM. The interpretation should be precise, not be ambiguous.

2) Abstract description of a FSM: It is to determine the states and events of the system by abstracting from the factual problem. FSM can be represented using a state diagram, an algorithmic state machine, or a state transition table. The most common representation is the state diagram.

3) Optimization of FSM: To optimize a FSM means finding the machine with the minimum number of states that performs the same function.

4) Implementation of FSM: It is to implement the simplest state diagram in computer languages.

4. DESIGN AND IMPLEMENTATION

This paper introduces the FSM to develop the communication software of the controlling station with the object-oriented method to implement the IEC 60870-5-104 protocol.

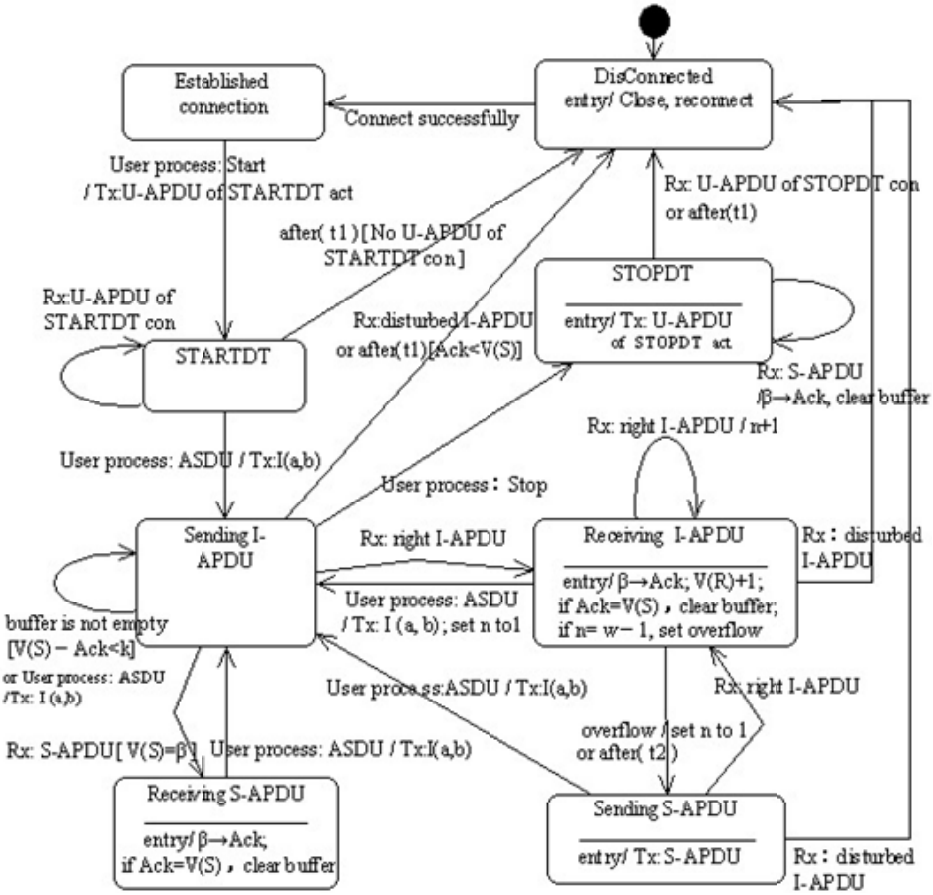
4.1. Description of FSM s

A state machine is a graph of states and transitions. Usually a state machine is attached to a class and describes the response of an instance of the class to events that it receives, help to analyze the object's behavior. Usually finite state machines are notated in a graphical form. In Fig.2, the state chart in UML describes the behavior of the application layer object. We'll describe the state chart for the application layer object here:

In the lifecycle of the application layer object, there are eight states: Disconnected, Established connection, STARTDT, STOPDT, Sending I-APDU, Receiving I-APDU, Receiving S-APDU, Sending S-APDU.

An event is something that happens during execution of a system. With a state transition, an occurrence of an event can trigger a state transition. There are three kinds of events, including:

Call event. The receipt of an explicit synchronous call request by an object. In this, it is that the user process calls the application layer's service to transmit an ASDU.



NOTE 1 V(S), V(R), Ack, *k*, *w*, *t*1, *t*2 used above is defined in the IEC60870-5-104 protocol
NOTE 2 I(a, b), S(b) = a sent I-APDU or S-APDU, V(S)→a, V(R) →b
NOTE 3 I(*α*, *β*), S(*β*) = a received I-APDU or S-APDU, *β*→Ack
NOTE 4 Tx = send; Rx = receive
NOTE 5 *n* = the number of the I-APDUs received continuously

Fig. 2. Statechart diagram for the application layer object

Time event. The arrival of an absolute time or the passage of a relative amount of time. It is notated with the keyword after followed by an expression that evaluates to an amount time.

Signal event. The receipt of an explicit, named asynchronous communication among objects. In this, it is the APDU object which is received by the application layer object.

Guard condition is a Boolean expression enclosed in square brackets. The guard condition is evaluated when the trigger event occurs. If the expression evaluates as true, then the transition fires. If the expression evaluates as false, then the transition does not fire. In this, there are the conditions of 'V(S)－Ack<k', 'Ack<V(S)'.

An action is a primitive computation, including calling an operation, creating or destroying an object, sending a signal to another object. In this, it is to send APDU. And some of the states have the entry actions.

So, the behavior of the application layer object has been expressed explicitly by the statechart diagram, and then it is easy to implement it.

4.2. Approach to the FSM implementation

FSMs have become a standard model for representing object behavior. And there are many techniques to generate code for FSMs. Yet, to this day, software engineers design their own simple state machines from the ground up. And each time they face the same challenges – trying to make their code work efficiently while preserving the structure of the FSM to preserve maintainability. To address this issue we present a novel approach to FSM's implementation. In addition to that an object-oriented FSM implementation framework is presented.[2][3] The new FSM implementation framework explicitly describes all the concepts and associations between these concepts in the FSM, makes the mapping between a FSM design and implementation more direct and consequently easier to use. Therefore, not only can this framework make the software more reusable and flexible, but also can improve the maintenance and robustness.

In Fig.3 a class diagram is shown for the framework's core classes.

This approach encapsulates each action (e.g. exitaction, entryaction, action associated with transition) in a separate class. Actions all implement one interface. Their interface, **FSMAction**, consists of only one method, **executeAction()**, that performs the processing associated with the action. Other FSM elements merely link actions together and invoke them in the proper order. **FSMTransition** class executes actions related to each transition. **FSMState** executes actions related to entering and exiting each state. The implementation is to use the Command pattern.[4] Mapping the classes to the terminology of Command pattern, all Actions play the role of Commands. The **FSMContext**, **FSMState**, and **FSMTransition** classes play the role of Invokers, because they execute the Actions. **FSMContext** invokes the initial action, **FSMState** invokes entry and exit actions, and **FSMTransition** invokes an action on transition. Lastly, **FSMContext** class is the Receiver, because it stores the data that Actions update while they execute. We'll shortly describe the classes here:

FSMContext. This class maintains a reference to the current state. It delegates the processing to the current instance of the **FSMState** class.

FSMState. This class models the states in the FSM. Each state has a name that can be set as a property in this class. **FSMState** also provides a method to associate events with transitions. It also provides a dispatch method to trigger transitions for incoming events.

FSMTransition. The transition object has only one method: executeTransition(). This method is called by a **FSMState** when an event is dispatched that triggers the transition.

FSMAction. This interface has to be implemented by all actions in the FSM. It functions as an implementation of the Command pattern as described in [4].

4.3. The FSM framework configuration tool

States, actions, events and transitions now have explicit representations. This makes the mapping between a FSM design and implementation more direct

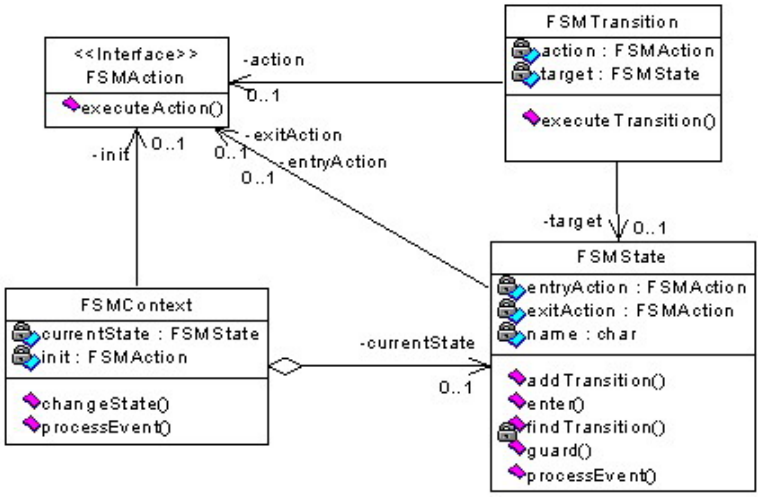


Fig. 3. Class diagram for the FSM framework

and consequently easier to use, thus creating the possibility of making a configuration tool. Such a tool significantly eases the use of our framework. Since developers only have to work with the tool instead of complex source code.

This paper builds a tool that takes a FSM specification in the form of a XML document. XML is suitable for modeling hierarchical data, such as a FSM. The wide support for this language makes it easier to built graphical tools that work on the XML specification of a FSM. Finally, XML parsers are widely available.

In Fig. 4 an XML file is given that can be used to create a FSM. In this file the FSM in Fig. 2 is specified. Several tags like <states> and <transition> are used. The structure of the file is very straightforward.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<fsm firststate="Disconnected" initaction="initAction.ser">
    <states>
        <state name="Disconnected"/>
        <state name="Established connection"/>
        <state name="STARTDT"/>
        …
    </states>
    <events>
        <event name="Connect successfully"/>
        <event name="User process: Start"/>
        <event name=" User process: ASDU"/>
        …
    </events>
    <transitions>
        <transition sourcestate="Disconnected"
                targetstate="Established connection"
                event="Connect successfully"/>
        <transition sourcestate="Established connection"
                targetstate="STARTDT"
                event="User process: Start"
                action="TxUAPDUof
                STARTDTact.ser"/>
        <transition sourcestate="STARTDT"
                targetstate="STARTDT"
                event="Rx: U-APDU of STARTDT con"/>
        …
    </transitions>
```

Fig. 4.

A problem in specifying FSMs using XML is that **FSMAction** cannot be modeled this way. To resolve this issue we developed a mechanism where **FSMAction** components are instantiated, configured and saved to a file using serialization. The saved files can be referred to from the XML file. When the framework is configured the FSMAction component files are deserialized by the configuration tool and plugged into the FSM framework.

5. CONCLUSION

In this paper we argue for the design and analysis of the communication software of the controlling station in power telecontrol systems. The design method based FSMs has several advantages:

(1) The approach that applies to the implementation of the 104 protocol also applies to the implementation of the other protocol, such as IEC60870-5-101, IEC60870-5-103, DNP3.0 protocol.

(2) The approach makes it easier to automate the development of protocol. The developers only have to compile the FSM, and implement it automatically via the configuration tool.

The design method builds the basis for the application, implementation, test, maintenance of the protocol. In conclusion, it can not only make the software more reusable and flexible, but also can improve the maintenance and robustness.

REFERENCES

1. IEC 60870-5-104 : Telecontrol Equipment and Systems 5-104 : Network access for IEC 60870-5-101 using standard transport profiles. IEC Standard. 2006.
2. JILLES van Gurp, JAN Bosch. On the implementation of finite state machines // Proceedings of the IASTED International Conference, 3rd Annual IASTED : International Conference Software Engineering and Applications. Scottsdale. Arizona : IASTED, 1999.
3. Paul Adamczyk. Selected Patterns for Implementing Finite State Machines. [On-line]. URL: http://pinky.cs.uiuc.edu/~padamczy/xml/tableofcontents.html.
4. GAMMA E, HELM R, JOHNSON R. Design patterns-Elements of reusable object oriented software. Boston : Addison Wesley, 1995.

Liu Jue-fu, Liu Gao-yuan, Li Bo, Shi Yu-zhen УДК 519.87

RESEARCH ON GRID COMPUTING MANAGEMENT MODEL BASED ON MOBILE AGENT

1. Introduction

Gird is the integration of computing resources, including CPU, memory, database etc distributed in different geographical location through high-speed Internet, which provides high-performance computing, resources management and services. Numerous resources are widely distributed in the Grid system nowadays. Those dynamic resources and services may come into or leave from the different Virtual Organization (VO) dynamically at any time. In order to utilize the resources both conveniently and effectively for Grid users, problems related to resources distribution, resources monitor and update and Grid resources management, which includes resources discovery, should be solved.

This paper analyzes and discusses the Mobile Agent technology for grid resource management model.

2. Mobile Agent Technology

Mobile Agent is an executable program which is able to migrate from one computer to another in the network, searching for suitable computing resource and information. Thanks to the mobility and intelligent, Mobile Agent is particularly suitable for Grid with dynamic and heterogeneous features. The introduction of the Mobile Agent technology to grid resource management and scheduling system contributes to the resources release, discovery, distribution and scheduling [1]. There are several following advantages:

(1) Reducing the traffic of the resources control center. A Mobile Agent moves computation to data, directly deals with computation on data side and only returns the final result, which avoids numeric of intermediate data communications and saves the network bandwidth successfully. Mobile Agent also carries many service requests to the server side for local calls, thereby avoids lots of remote calls, and reduces the network delay by each remote call.

(2) Improving the ability to solve tasks in parallel. Mobile Agent is able to asynchronous execute on multiple heterogeneous network hosts and return the result to user after the process. To complete a specific task, user can creates multiple Agents that execute on one or more computers.

(3) Better adapting to the dynamic of network resources. Mobile Agent supports offline computation, supports distributed applications of the mobile computing. And the dynamic adaptability of the Mobile Agent is able to interact with the environment, perception of environmental change, response fast and independently [2].

3. Grid Computing Model Features

"Grid computing" is a combination of a variety of independent resources and systems connected in network, which enables resources sharing, teamwork and joint computing, and provide the various types of grid-based integrated services for users as a whole. The key feature of the Grid is to share resource and solve problems in the dynamic, multi-organization Virtual Organization environment [3].

Processing information is the core technology of Grid computing. According to the physical features and architecture features of grid computing environment, its application-layer model should have the following features:

(1) Job classification: To effectively cope with the tasks of grid computing environment, reflect the priority of the tasks, the high-grade job should be given priority in Grid Computing model.

(2) High reliability: model has to guarantee the high-reliable communication between various modus and ensure achieving required resources dynamically and effectively.

(3) Interactivity: the intelligent interaction, exchange of information should be performed among different modules in order to know their own resources information and the job handling capacity, and based on those to make the dynamic decisions, modify their own management decisions and coordinate conflicts.

4. The research of Grid Computing Management based on Mobile Agent

4.1. Construction of Grid Computing Management model

AS a Grid is to realize the sharing of resources, the organization, scheduling of resources is the core of the grid. In s Grid study case, the toolkit Globus Tookis 2.2 developed by Globus, the organizing, scheduling of resources are realized by two functional modules: MDS, GRAM. MDS makes an efficient aggregation of the scattered grid resources and provides optimal scheduling functions to certain degree. The synchronization between MDS information and resource state is ensured by GRAM; in addition, GRAM can also monitor the resource load state. By utilizing the organization, scheduling information of the resources provided by Grid will greatly facilitate the selection of target node in the process of migration. One important issue in the Network Resource Management model is resource load balancing, which is the inevitable requirement to achieve effective sharing of resources and improve utilization of system resources. Mobile agent is able to achieve load balancing and high fault tolerance, comparing to the load balancing which has the following advantages. Load balancing system allows tasks or processes redirect or relocate in the network, however, this migration is decided by the OS or the related application of load balancing, the remigrated tasks or process cannot be known at all and are completely passive, that indicates the migration transparency is required by the load balancing system. On the contrary, the move of the Mobile Agent is active, and is the results of the agent show requests, which is decided by the autonomy of Agent. The mobile initiative of Mobile Agent asks for the language realizing Agent with mobile semantics, which requires the codes of Mobile Agent contain functions or statements with function calls. Consequently, the load balancing of the distributed system can be achieved through using of the Mobile Agent technology.

According to the advantages of Mobile Agent, the Grid Computing Management model is build based on the Mobile Agent technology, the model figure is shown in Figure1

The System is divided into 5 layers: Resource layer, Resource Agent layer, Negotiation Layer, Job Agent layer and User layer.

Resource layer contains a variety of heterogeneous resources in the grid system. Resource Agent layer includes two types of Agent, one is Resource Agent that can manage one or more of the same resources, which is responsible for scheduling those resources; the other one is Resource Providing Negotiation layer: the Agent is created by Resource Agent, used to represent the resources provider perform price negotiation [4]. Negotiation layer mainly enables a negotiation platform and relevant services for the requester and the provider of resources, and contact with the request memory, if there was the same resource request before, then the resource can be requested through directly contact with the resource Agent. Job Agent layer is due to receive is responsible for receiving the task submitted by end-users, and creates the Job Agent, while the Job Agent create the resources requested Negotiation Agent for resources requirement. User layer contains the humans and software applications.

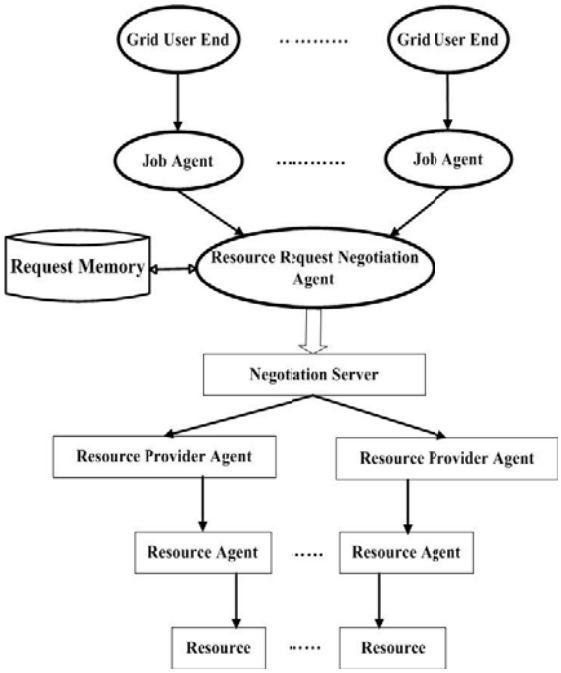


Fig. 1. Grid Computing Management model based on Mobile Agent

4.2. Analysis of system flow

Once the Job Agent received a job request, a job Agent is created. The Job Agent will be responsible for querying Resource Request Negotiation Agents in order to find the available resources, and contacts with the resources, and then form a cooperative alliance through consultation to jointly complete the job. After the job being completed and the results are delivered to end users, the job Agent will be dissolved. The Job Agent has to express its resource requirement, and achieve the system resources through consultation.

5. Simulation and Analysis of Results

We utilized the Swarm Platform of Santa Fe Institute in U.S. to simulate grid service management [5]. In the Mobile Agent simulation model, we utilized the Java programming language call the class library in Swarm to simulation.

The simulation is designed for a grid service. The internal structure and model of the Aggregate

Agent from the micro-economic simulation model-ASPEN model developed by U.S. Sandia Labs, is composed by the Resource Agent, the Resource Providing Negotiation Agent, the Job Agent and the Resource Request Negotiation Agent etc. The system has been simulating for more than 10 years, the refresh rate is 1. (Refreshed after each simulation cycle time) When booting the simulation experiment system, each Agent will be in accordance with the pre-set behavior schedule which is the action-interaction observing window and the change of transaction aggregate through computer. The results of experiment are shown in Figure2.

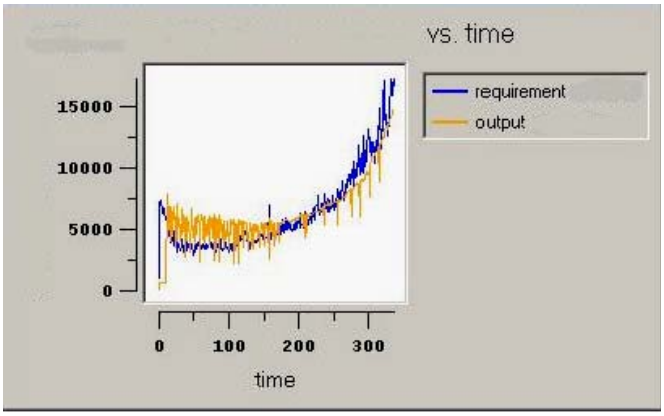


Fig. 2. Simulation results of the system

6. Conclusion

Applying the Mobile Agent technology into Grid Computing Resource Management can build a dynamic self-adaptive resource environment. The advantages of Mobile Agent include: the flow of data on the network can be greatly reduced. Through move Agent service request to the target host, the Agent can access to the resource of host directly, and reduce the interaction with resource host. Because of the above reasons, which avoid of lots of data transmissions in the Network, reduces the strict requirement to the Network bandwidth, cuts down on the delay time, and improves the service response speed. In addition, each Agent is able to Asynchronous and autonomy execute on multiple heterogeneous network hosts. We can complete the tasks through implanting to the mobile agent.

REFERENCES

1. Frank Griffel, M. Tuan Tu, Malte Munke. Electronic Contract Negotiation as an Application Niche for Mobile Agents // IEEE, 2000.
2. Zhu Lili, Xiong Qianxing. Technology of Mobile Agent in the Application of Electronic Business // Computer & Digital Engineering. 2008. № (4). P. 165–166.
3. Liu Gao-yuan, Liu Jue-fu. Research of Gird Service Based on Web Service // Jounal of East China Jiaotong University. 2008. № (4). P. 71–73.
4. Ma Yin-qiu, Wu Di. Realization of Resource Searching Based on Mobile Agent and AJAX // Microcomputer Information. 2008. № (4). P. 71–73.
5. Jain P. Kircher M. Leasing Pattern. Sandholm TW // PLOP 2000 conference. USA. Illionis : AllertonPark, 2000. P. 326–328.

Jiang Xiangang, Xu Miaocun, Jiang Xiaojun

УДК 004.413

SOFTWARE DESIGNING OF GEOMETRY DISTORTION ADJUSTMENT IN MACHINE VISION

1.Introduction

The images are needed for accurate calibration in CNC process based on machine vision dealing with recorded images by one or more quality demotions and identifying the position of certain surface characteristic points, so that the handled images can maximumly match the original feature and achieve accurate resoration. The digital image processing methods can transform distorted image into the original image. The transformation process is divided into two steps: (1) geometric transformation. Transformation by using the coordinates relationship between the original image and the distorted image, which means the rule of the distortion makes geometric transformations on the coordinates space where image distortions lie. (2) gray-scale calibration. If the transformed coordinates

are not exactly on the pixel points of ideal image, the gray scale of the corresponding pixel points of the ideal image can be used to estimate the gray scale of that point, thus the corresponding gray scale of the distorted image can be gained. The experimental result demonstrates that the alignment error will not surpass 0.1mm on condition that the target image is accurate. The designing of software system modules uses Delphi 7.

2. Geometry distortion adjustment analysis on machine vision

2.1. General reasons of image geometry distortion

The degradation of image correction is trying to use some kind of priori knowledge of the phenomenon (that is, the degradation of the model)to reconstruct or restore the degraded image.The causes of degradation of image varies, for example,the effects of atmospheric turbulence, the non-linear of sensor characteristics, optical system aberration and the relative motion between imaging equipment and objects and etc.. The causes of degradation need to be ascertained when image correction works, the corresponding correction model needs to be established, then the image can be recovered by following the reverse process of image lowering quality.

Among image distortions caused by machine vision, a very important part is from the optical distortion error, which affects the quality of pixel point coordinates. The optical distortion is divided into radial distortion and eccentric distortion. The radial distortion in general which dues to the defects caused by the lens shape, mainly has something to do with distance between the image point and the main point, and causes the conformation point deviating from its ideal accurate location along the radial direction. Therefore, radial distortion is the main component of distortion, whose deformation rule basically embodies the rule of the camera distortion. Camera distortion can be divided into the barrel distortion and pincushion distortion according to the positive or negative factors of coefficient.

2.2.Two geometric distortion correction algorithms

The affine model and the grid model are established from the above main reasons of the image distortion in machine vision. In order to realize both the algorithm and experimental results comparson, the writer uses different algorithm to design and process the methods.

Affine model uses affine transformation which is contrary to the distortion to offset the image distortion: firstly, restore the image's deformation angle, and then transform the image's distance. Here set the image's upper left corner as the coordinates origin, extract five round focus from the distortion image, calculate the connection slope between two centers according to clockwise direction, and then use affine transform to realize rotation, translation and correction of the image.

Grid model uses image center as the coordinates origin, and uses grid to cover target to intake the distorted images with grid, because the geometric distortion is not symmetrical on the origin, it is reasonable to divide the whole image into four equal parts and recover each part of the image respectively.

3. Machine vision system's geometry correction programming

This article adopts 1024×768 pixel precise circular targets, Fig.1 and Fig.2 are the pictures of target and distorted images of the target by accurately mapping and extracting respectively.

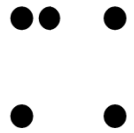


Fig. 1. Target

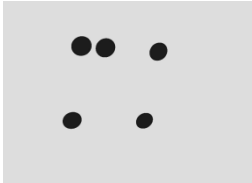


Fig. 2. Distorted image

3.1. Common characteristics and parameters in geometric correction

1) Conversion of computer image coordinate system and coordinate system

As the computer coordinate system focuses on the image's upper left corner as the origin, horizontal right as abscissa axis, and vertical downward as ordinate axis, the above target and its coordinates are used only in the image coordinate system. If using in the computer coordinates, conversion should be done based on the relationship of computer coordinate system and real world image coordinate system.

u , v axis parallel to x , y axis separately. The intersection point of image sensor optical axis and image plane is located in the image center O'. But because the image system has certain geometry nonlinear, the deviation from the original point is resulted in the end. The transformation formula from the image coordinate system to the computer coordinate system is as following:

$$\begin{cases} u = x - o_1' \\ v = y - o_2' \end{cases} \quad (1)$$

2) Center of gravity

The row coordinate and columned coordinate of gravity are calculated by the following formula:

$$\bar{x} = \frac{\sum xf(x,y)}{\sum f(x,y)}, \quad \bar{y} = \frac{\sum yf(x,y)}{\sum f(x,y)} \qquad (2)$$

3) Distortion rate

$$D = \frac{\eta - H}{H} \times 100\% \qquad (3)$$

In the formula, η represents the practical image formation height; H represents the ideal image formation height; D is distortion rate.

According to this definition, when pincushion distortion happens, the practical image formation height is greater than the ideal image formation height, as shown in the image pixel location is stretched; When barrel distortion happens, the reverse appears,that is the practical image formation height is less than the ideal image formation height, as shown as compressed images, and pixel moves to the center.

4)Precise calculation

$$J = \frac{\sum_{i=1}^{5} \sqrt{(x_i' - \bar{x}')^2 - (y_i' - \bar{y}')^2}}{\sum_{i=1}^{5} \sqrt{(x_i - \bar{x})^2 - (y_i - \bar{y})^2}} \times 100\% \qquad (4)$$

Consider five circles in target as samples, of which the gravity center of i sample is (x_i, y_i). x_i and y_i are the two characteristic values of the sample, and the average of sample mean is the cluster center these five samples in the feature space. (x_i', y_i') is the gravity coordinates of i sample in the corresponding revision image; $(\bar{x}', \bar{y}')$ is the cluster center of these five samples of revised image in the feature space.

3.2 The affine model of plane space and image

This model mainly uses the affine transformation, which is one kind of linear transformation between two-dimensional coordinates maintaining “straight line” and “parallelism” of two-dimensional graphics, and achieving through the compound of a series of atom transformation, including translation, scale, flip, rotation and shear. Rotation and translation are effective to deal with the distorted images mentioned in this article. So the key of image correction is to find corresponding affine transformation.

For the given distorted image, the distortion extent of circles in different positions is not same. Calculating the angle of connection line of two circle gravity centers with clockwise can gain five pairs of sine and cosine. Use the first pair and affine transformation formula:

$$\begin{bmatrix} \bar{x}_i' \\ \bar{y}_i' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & \sin\theta_i \\ -\sin\theta_i & \cos\theta_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{x}_i \\ \bar{y}_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_i \\ b_i \end{bmatrix}$$

$$(i = 1,2,3,4,5) \qquad (5)$$

Transform the first round focus coordinates $(\bar{x}_1, \bar{y}_1)$ to a new coordinates $(\bar{x}_1', \bar{y}_1')$, the remaining four new coordinates can be achieved in the same way: $(\bar{x}_2', \bar{y}_2'), (\bar{x}_3', \bar{y}_3'), (\bar{x}_4', \bar{y}_4'), (\bar{x}_5', \bar{y}_5')$ (in normal circumstances, the value of θ_i, a_i, b_i for each round is different), the new coordinates are five round centers of gravity in recovered image.

Fig.3 shows the corrected image after using this method. The white-points are the location of the target image after correction. Fig.4 is the recovered one of distorted image location after the inverse transform by formula (5). The white points are the recovery location of the distorted image.

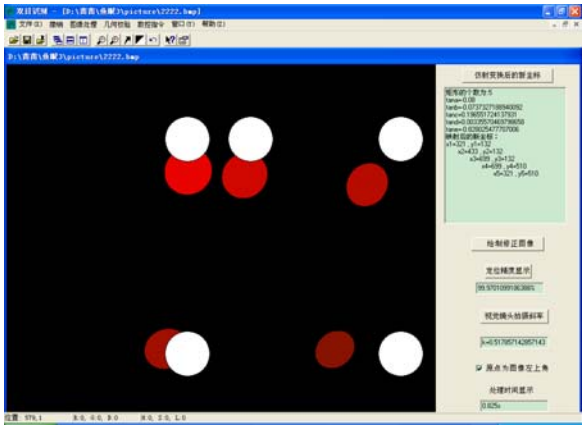


Fig. 3. The effect image of affine model of image distortion correction

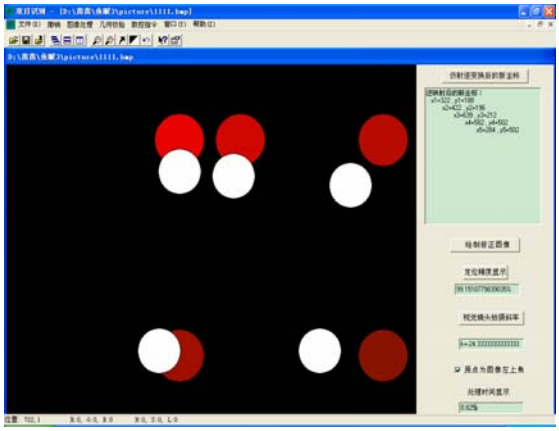


Fig. 4. The position restoration image after affine inverse transformation

3.3. The 4 × 4 grid model of image

Cover precise circular target with 4×4 grid, as shown in Fig.5. Each small grid in the precise circular target is uniform square of 256×192 pixel. The grid

taken from distorted image is the grid having the same distortion. Formula (1) can realize the transformation between the computer coordinate system and the image coordinate system, make the origin coordinates as the distorted image center (with a certain deviation), and then correct the position to make it a real image center, and divide the whole image into four equal parts based on the center. Select a quarter part from the distorted image to correspond to the 11 parts of target in Fig.6.

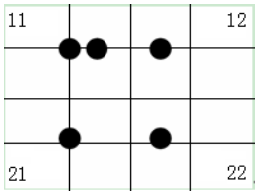


Fig. 5. The target covered with 4×4 grids

Fig. 6. The 1/4 part on distorted image

Taking into account that there are small triangles formed by three adjacent grid points in each vertex of this image part, whose positions in the distorted image are $(r_1,s_1),(r_2,s_2),(r_3,s_3)$, And suppose the ideal coordinates of these spots in specification grid are $(u_1,v_1),(u_2,v_2),(u_3,v_3)$. By linear transformation relations:

$$\begin{cases} x' = ax+by+c \\ y' = dx+ey+f \end{cases} \tag{6}$$

It can be considered to map three points to the corrected positions, which is consists of three pairs of equations.

$$\begin{cases} u_i = ar_i+bs_i+c \\ v_i = dr_i+es_i+f \end{cases} \quad (i=1,2,3) \tag{7}$$

Simultaneous solution of these six equations obtains parameters a, b, c, d, e, f. This transformation can be used to correct distortion in the triangle surrounded by connection line of three points in the distortion image. As a result, the above steps can be repeated on each grid point in a group of three to finish all images' geometric adjustment. Fig.7 is the effection diagram after restoration. The cross fork of different colors represent five round centers of the target and calibration images. Fig. 8 shows the operation process chart of using template to locate the target in vision-based NC machining and continually carry out center hole process. In addition, the article also makes experiments by using 8×8 grid to cover precise round target. The experimental data are showed in Table 3.

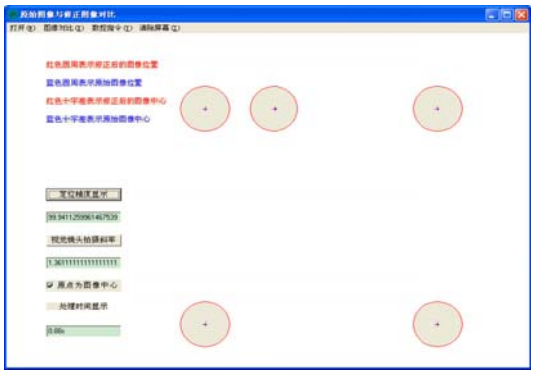


Fig. 7. The effect image of 4×4 grid model of distorted image

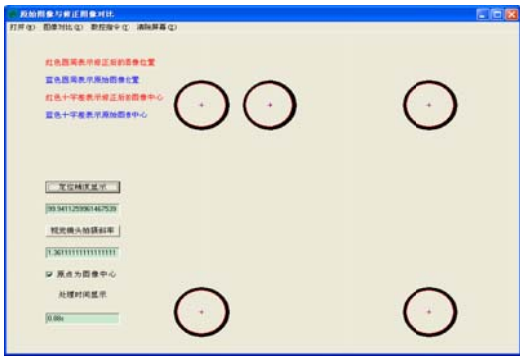


Fig. 8. The center hole operation plans under NC machining

4. The experimental result and conclusion of geometry distortion adjustment

In this paper, DNC machining manufacturing coding experiments are made to verify the correctness of theoretical analysis. Here gives some experimental results. The precise circular target is used in experiments, shown in Fig.1. The advantage of selecting such target is that the center can be accurately measured, image distortion can be quantitatively analyzed to reduce data processing error and improve the reliability of experimental results.

Table 1 and Table 2 show that how two models correct the center of the distortion image in the course of the experiment. The experimental data shows that distortion has been significantly reduced and the center has been recovered basically. Table 3 shows two experimental results of the different models.

Table 1

The various shape parameters of the affine model

	The center coordinates of five circles				
Target	(321,132),	(434, 132),	(699, 132),	(321, 510),	(699, 510)
Distorted image	(322,188),	(422, 196),	(639, 212),	(284, 501),	(582, 502)
corrected image	(321,132),	(434, 132),	(699, 131),	(321, 510),	(699, 510)
Origin coordinates	(0, 0)				

Table 2

The various shape parameters of the grid model

	The center coordinates of five circles				
Target	(-189,-114),	(-76, -114),	(189, -114),	(-189, 264),	(189, 264)
Distorted image	(-188,-58),	(-88, -50),	(129, -34),	(-226, 255),	(72, 256)
corrected image	(-189,-114),	(-77, -114),	(189, -114),	(-189, 264),	(189, 264)
Origin coordinates	(510,246)				

Table 3

Experimental result contrast table

	Origin coordinates	Distortionrate beforeadjustment (%)	Adjustment precision(%)	Processing Time(s)
Affine model	(0, 0)	-17.195767-	99.926007-	0.825
Affine inverse transformation	(0, 0)	-17.195767-	99.151077-	0.825
4×4 grid model	(510,246)	-17.195767-	99.941125-	0.880
8×8 grid model	(510, 246)	-17.195767-	99.973903-	1.070

As experiment results can be seen from Table 3, because the image in grid model is divided into four equal parts and is corrected separately, the resuming time is relatively longer, but the calibration accuracy has increased in the affine model. If higher accurate level is required , the grid which covers target can be more refined, for example the 8×8 grid model in this article can do more triangle distortion correction, and increase calibration accuracy again by dividing a sub-grid into 4×4 grid model.

The grid model distortion expressed by affine transformation and radial distortion expressed by radial differential equation all can be taken as the machine vision analysis in higher efficacy. Grid distortion efficacy is more in tune with the geometric processing and analysising of symmetrical distribution and edge distribution, and radial distortion efficacy is more in tune with the geometric processing and analysis of center distribution. So to different processing requirements, choosing proper methods is very important. The analysis on the small details in the local part can use local image enlarging display technology to show the center position error. The distortion solution center has been able to meet accuracy requirement that the error is less than 0.1mm.

REFERENCES

1. Jiang Xiangang. The Technology Research on Image Smooth and Medical Organ's 3D Reconstruction Based on Anisotropic Diffusion // Journal of Irkutsk State University of Railway Transport. 2008. № 2 (18). P. 82–86.
2. Jiang Xiangang. Research on Automatic Detection System Design of rolling Bearing's Surface Defects Based on Neural Network // The First International Symposium on Innovation & Sustainability of Modern Railway conference. 2008. P. 556–560.

Mo Jia

УДК 004.65

STORAGE OF XML DATA THROUGH FINE GRANULARITY RELATION

Introduction

With the rapid development of Internet technology, XML has been increasingly used in E-commerce so that an ocean of data are stored and transmitted through it in many enterprises and units. Soon after the appearance of XML, a large number of data manufacturers have offered the XML data publishing in relational database. However, relational database is not expected to give a direct storage of such half-structuring data. Consequently, the XML storage and management are not given a strong support by relational database. In this case, the study on XML data has been a hot spot.

There are three ways to studies on XML database: NDX (Native XML DBMS), giving a direct management to XML storage and inquiry; XED(XML-enabled DBMS) , implementing the function of XML database through relational database; and Mixed, integrating NDX with XED.

This paper is dedicated to XML data storage based on relational database for the following consideration: relational database has enjoyed a mature development so that it can provide a myriad of data with effective access, concurrency control and restoring; the relational storage can complete the integrated management of any data no matter they are structural or half structural.

In terms of relational granularity, the fine granular relation model is selected since it offers one and only identifier to each structure in the document. What's more, each element, attribute and character data can be individually accessed, amended and deleted. The fine-granularity relation offers data management flexibility and convenience to the largest degree.

In the light of the principle concerning fine granularity, the said relational storage of XML data through Java is implemented. For the sake of simplicity and clarity, the XML demonstrations file to be transited is first given in figure 1.

1. The principle of fine-granularity relational storage of XML

The principle of fine-granularity methodology is that each structure in the document has its own table including element, attribute and character data and a parent/child table combined by a documental table and element and their components including child element and child character data. The logic model in the relational data model based on fine granularity is illustrated in figure 2.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"
?>
<example>
  <person id="Big.Boss"
contr="false">
    <email>chief@foo.com</emai
l>
  </person>
  <book id="123456">
    <name>XML
```

Fig.1 XML demonstrations file

```
docTable(doc_id int ,name String,root int)
eleTable(doc_id int,ele_id int,parent_id
int,tag String)
attTable(doc_id int,ele_id int,name
String,value String)
textTable(doc_id int,text_id int,ele_id
int,value String)
childTable(doc_id int,ele_id int,child_id
int,child_type int)
```

Fig.2 Fine granularity relational logic model

In the logic model, the docTable is composed of the three strings of docID, docName and the root element, among which, the root element connects the elements in docID and docName. And for each string, there is an XML document. As the most important part in the design, EleTable, constituting docID, eleID, parent eleID and eleLabel, links to other document structures. AttTable includes the name and value of the attribute and a call to element identifier. ChildTable can access to all child elements and character data through the element linked by element identifier and

child identifier and also browse the top tree. The child type in the eleTable represents that child belongs to element or character data.

2. The implementation of the design

2.1. The Implementation flow

The flow is composed of three stages as showed in figure 3: the access to XML files;□the parse of it; the generation of SQL statement and the writing of XML data into database. Among them, the fist is easily done by class XMLParse to load XML files into memory while the third is the process of running database by means of JDBC. This paper aims to focus on the second step or the implementation of DOMTree.

2.2. The Major steps of implementation

The XML file is first read by XMLParse class and then parsed by DOM parser. This paper adopts first traversal to traverse it. By this method, the PrintTree function is used to get the class and value of the present node and then recursively called to traverse the nodes in the file. The mentioned algorithm is as follows:

```
for (Node child = node.getFirstChild(); child!=
null;child = child.getNextSibling())
        PrintTree(child);
```

Given the node type including document nodes, element nodes, text nodes and attribute node, switch (NodeType) is employed to decide the type in the PrintTree() function and the code for the relative run is

```
case Node.ELEMENT_NODE:
      ele_id=eleList.size()+1;
      par_id=eleList.lastIndexOf(node.getParen
tNode())+1;
       String elesql="insert  into eleTable
(ele_id,par_id,tag) values ( '"+ele_id+"',"
      +"'"+par_id+"','"+"'"+node.getNodeNam
e()+"')"; eleList.add(node);
      NamedNodeMap atts =
node.getAttributes();
      for (int ii = 0; ii < atts.getLength();
ii++){
       Node att = atts.item(ii);
      String attsql="insert  into attTable
(ele_id,att_name,att_value) values (
'"+ele_id+"',"
      +"'"+att.getNodeName()+"','"+"'"+att.get
NodeValue()+"')";break□
      case Node.TEXT_NODE:
      String textsql="insert  into textTable
(text_id,ele_id,value) values (
'"+(++text_id)+"',"
      +"'"+ele_id+"','"+"'"+node.getNodeValue
()+"')";
            }
```

In the recursive invocation of PrintTree(), StringBuffer is used to save the generated SQL sentence. Take fig.1 as an example, the SQL sentences produced by DOMtree() are presented in figure 4.

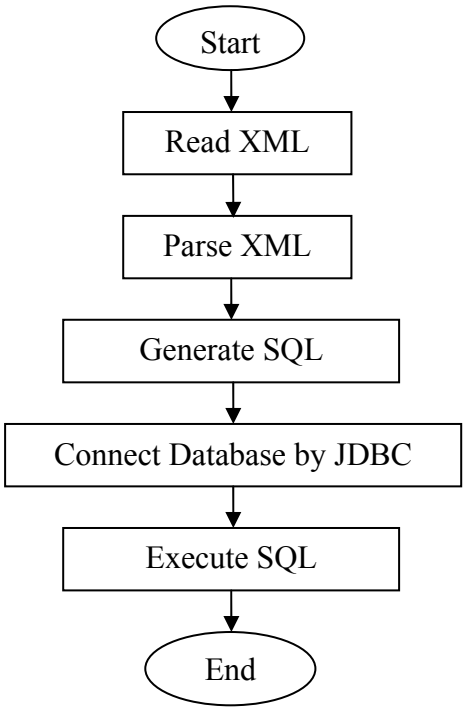


Fig. 3. Store XML to relational database

Having generated a series of SQL sentences, the flow comes to the third stage. After the flow in figure 3, the XML document in figure 1 is saved in the relational database as presented in fig.5-7.Until now, the conversion of XML data to relational database has completed.

3. Conclusion

In respect of relational storage of XML data, the mapping of XML data to relational data has been implemented through the fine granularity storage strategy by means of Java language. The project has showed that this mapping offers a flexible access to any node in XML and exerts little influence on other documental structures in the process of modification or deletion. Still, the relational storage of XML data with loop and the said XML query are the focus in our later study.

```
insert into eleTable(ele_id,par_id,tag) val-
ues('1','0','example')
insert into eleTable(ele_id,par_id,tag) val-
ues('2','1','person')
insert into attTa-
ble(ele_id,att_name,att_value) val-
ues('2','contr','false')
insert into attTa-
ble(ele_id,att_name,att_value) val-
ues('2','id','Big.Boss')
insert into eleTable(ele_id,par_id,tag) val-
ues('3','2','email')
insert into textTable(text_id,ele_id,value)
values('1','3','chief@foo.com')
insert into eleTable(ele_id,par_id,tag) val-
ues('4','1','book')
insert into attTa-
ble(ele_id,att_name,att_value) val-
ues('4,'id','123456')
insert into eleTable(ele_id,par_id,tag) val-
```

Fig. 4. The generated SQL sentence

ele_id	par_id	tag
1	0	example
2	1	person
3	2	email
4	1	book
5	4	name

Fig.6. AttTable

ele_id	att_name	att_value
2	contr	false
2	id	Big Boss
4	id	123456

Fig.5 EleTable

text_id	ele_id	value
1	3	chief@foo.com
2	5	XML book

Fig.7 Character Database

REFERENCES

1. Liam Quin. Extensible Markup Language (XML). URL : http://www.w3.org/XML/.
2. Rourret R. XML and Database. URL : http://www.rpbourret.com/xml/XMLAndDatabases.htm.
3. Jagadish H. V., AL-Khalifa, Chapman A., Timber. A native XML database // VLDB Journal. 2002. № 11 (4). P. 274–291.
4. Kanne C. C., Morekotte G. Efficient storage of XML data // ICDE. Los Alamitos. IEEE Computer Society. 2000. 198–208.
5. Jeffrey F, Naughton J, Dewitt D. The Niagara internet query system // IEEE Data Engineering Bulletin. 2001. № 24 (2). P. 27–33.
6. Shanmugasundaram J. Relational database for querying XML documents : Limitations and opportunities. Proc.of VLDB. Edinburgh, Scotland, 1999.
7. Philippe Le Hégaret. Document Object Model (DOM). URL : http://www.w3.org/DOM/.

Fan Yong, Xiong Yue

УДК 008.510

THE COUNTERMEASURES RESEARCH ON CONSTRUCTING HARMONIOUS SOCIETY OF CHINA

Constructing a harmonious society in China is another major theoretical innovation to promote economic and social development in the new century and the new stage. The key to build a harmonious society is to further integrate social forces, adjust interest relationship among members of the community, to minimize social conflict and achieve social equity. Harmonious social relation is a necessity of building harmonious socialist society; moreover, labor relation is the most common, most basic and most important so-

cial relation in current social and economic life. The harmony of the labor relation concerns not only the laborers' happiness and health, but it also concerns the economic development and social stability.

I. The features of china's labor relation at this stage

Along with the continuous development of economic system reform, the establishment and development of China's labor relation has a significant change. Under the traditional planned economic system, the most obvious characteristic of China's labor relationship is administrative of the labor relations. The "administrative" demonstrates as follows: both enterprises and workers in labor relations have not been independent subjects of interest, the interests of both parties are represented by the government. Therefore, the regulation of labor relations is also mainly though government administration. The economic characteristic of labor relations has been neglected, while political nature of labor relations has been stressed on and paid attention to. Although there is very little conflict in labor relations, the businesses and workers lack in productive enthusiasm and initiative, with every employee eating from the same big pot of enterprise, and in turn each enterprise eating from the same big pot of the country, which results in the low efficiency of the community as a whole. Currently, China has preliminarily established a market economic system in line with the requirements of labor laws and policies as a benchmark to the management of the labor contract, collective consultation and collective contracts, labor dispute handling for the main contents of the labor relations adjustment mechanism, and forms its own characteristics.

1. The main status of labor relationship has established. The authority in employment and distribution for enterprise gradually expands, and the enterprise has already become one party of labor relation. Laborers have more rights in career choices and became the independent operators who have and dominate their own labor. In the labor market, laborer and enterprise, built labor relation via a two-way selection. Status and rights for both parties of labor relation are protected by law.

2. The establishment of labor relation has realized by contract. It's the formation and adjustment of labor relation and it's realized mainly by contract way. Its main manifestations are labor contract and collective contract. Labor contract is the employ meant contract which is signed by laborer and employer. Its basic function is to establish the labor relation. Collective contract is the one which is signed through the collective negotiation between the representative of labor union and employer. Its basic function is to make sure and implement the specific labor standards. And it's also used to adjust the labor relation. It will make the labor relation work well according to the legal norm. So to speak, the labor relation contract is the specific expression of legal the labor relation.

3. The operation of labor relation starts to realize the market-oriented. The process of labor relation's formation, operation and dispute handling will be adjusted by market mechanism. The rights and obligation of labor relation party is decided by both parties according to the market rules. Market mechanism's basic adjustment to labor source has begun to work. Meanwhile, government adjusts and controls the labor relation's normal running by making and implementing the national labor standard and labor dispute handling system.

4. The benefit of the main body of labor relation is gradually clear. In the past, the structure of the system was based on a balance of ownership, i.e. everybody was a master, and equal distribution of benefits. With the transfer into market economics, the old principles and methods have been broken. The management of the enterprise became a social class who has his own featured social status, powers and benefits. In contrast, the workforce quickly became an employed class who were different from the management. The enterprise and the workforce gradually formed a multi-interest relationship with identification of who was the dominant party. The overall interests of management and workforce were consistent, but conflict between individuals' interests arose, leading to a gradual increase in disputes.

5. The management of labor relation has developed according to the law. In recent years, China relations in the labor of building the legal system has done a lot of work, "Labor Contract Law", "Employment Promotion Law" and "Labor Dispute Mediation Arbitration Law" were introduced, for the harmonious labor relations, orderly, and norms and stable development of the foundation. However, at this stage, the Chinese legal system of labor relations is also not perfect, for example, although there is the adjustment of labor relations for individual labor contract law, but did not specifically collective contract law, and only the collective contract regulations.

II. The problems of China's labor relations

From the current situation, labor relation in China is harmonious and stable in generally. But also has some disharmonious factors:

First, in government-owned, collective enterprise and other ones which transfer from them, Labor Law has implemented well. Labor dispute is relatively less than before. Even if it came out, the adjustment

and dealing is not difficult because we have the foundation. But in non-public ownership system enterprise, especial in private enterprise, there are still major problems. For example, some labor-intensive industries like construction, shoemaking and dressmakers, still have serious problems, like skimp, default the salary of rural migrant workers. Some laborers' salary is even lower than the local lowest salary standard. Numerous laborers who work in non-public ownership system enterprises have no insurance. Some enterprises don't execute the special laws which protect the female and underage workers.

Second, the rate of labor contract signed is low; the labors' legal rights can't be guaranteed efficiently, especially the problem of disadvantaged labors' legal rights become outstanding. Some employers want to avoid the obligation to labors, so they don't built a written employment contract with employee when they establish real labor relationship, even deny they have real labor relationship when they have labor dispute. Due to the employer not sign the written employment contract with employee, it is difficult to make sure they have the real labor relationship. The rights of workers wages based on labor relations, to join trade unions and to participate in collective bargaining's right, the right of dissolve the labor contract to get the financial compensation, enjoy the social security's right and so on can't have effective protection.

Third, severe employment and re-employment situation has influenced the harmonious and stable labor relations. The employment pressure and the exceed demand for labor supply lead to employment competitive pressure among the employees. And also make some employers lower standards of the remuneration and working condition and even against the legitimate rights and interests of workers. The situation, to a great extent exacerbated the contradictions of labor relations. Meanwhile, the diversification of employment forms has also brought the complexity of labor relations. Flexible and diverse employment forms, such as Non-Full-Time employment, make us to establish a corresponding new form of labor relations and explore new method to deal with new forms of labor relations.

Forth, Labor groups vulnerable to social security are not sound enough. Employment of vulnerable groups refer to as the establishment of market economic system, the industrial structure and labor brought about by structural adjustment in the labor market at a relatively weak position of special groups. China's current job market vulnerable groups composed mainly of three types: laid-off workers, unemployed people and migrant workers in cities to make a living. At present, migrant workers, as well as many flexible employment staff in the many of them do not participate in social insurance, labor rights and interests of workers cannot be effectively protected, the resulting social problems growing, the labor rights of vulnerable groups to protect the voice of the more to the more.

Note: China's social insurance system covers endowment insurance, medical insurance, industrial injury insurance, unemployment insurance, and maternity insurance. China's social insurance is not mandatory.

III. The countermeasures of constructing harmonious labor relation of china

The inharmonic factors mentioned above are the inevitable reaction of phased characteristics of the Chinese economic and social development; and these factors are also the problems we need to solve in the process of building a harmonious socialist society. According to the realistic situation, China should establish a stable and harmonious socialist new-type labor relations with good order, rational justice and mutual benefits from the following aspects:

1. Enterprises, especially the private enterprises should implement Labor Law, Labor Contract Law and other relevant laws strictly. It can be said that the promulgation and implementation of Labor Contract Law has played a very important role in perfecting the system of the labor contract system, establishing the rights and obligations of both parties, protecting the legitimate rights and interests of labors and building and developing harmonious labor relations. Therefore, we must fully implement current laws, perfect the system, strength the management and try our best to solve those problems that infringe laborers' rights seriously such as dismissing employees optionally, prolonging working time, overtime working without extra pay, bad working environment, difficult compensation of injuries, low wages, defaulting and deducted wages, and lacking social insurance premiums. Especially, we should focus on the implementation of regional and industry-based system of collective contracts which raise and expand the rates of signing collective contracts.

2. Strongly safeguard the labor rights and benefits of the disadvantaged group. Firstly, strength publicity and supervision to urge the employers sign labor contracts with the laid-off workers and farmer workers and establish legal labor relations in order to safeguard their legal rights and benefits. Secondly, enhance the training for laid-off workers who seek re-employment and improve the skills and capability of the disadvantaged group to increase their job opportunities. Meanwhile, based on the fundamental effect

of labor market, the government should carry out some policies to guide and encourage the employers to hire laid-off workers. Moreover, the government should also open a consultative and informants' hotline telephone to offer them special service; at the same time they should enhance the supervision and solve the problems before they happed.

3. Establishing labor disputes processing system. First, China still needs to enhance the work of labor disputes arbitration and establish a multilevel and multichannel to solve the labor disputes. On the one hand, the company should further establish and perfect the labor disputes mediating committee, cultivate the quality of the mediating staff and increase the success ratio of mediation. On the other hand, a third level labor disputes network should be set up. The labor disputes mediation of the street and towns can be taken as the extension of labor guarantee and administrative department; this can solve the lots of labor disputes on the base and take precautions in the blade. Second, establish and perfect the system of labor dispute proceedings with Chinese characteristics. Labor dispute proceeding is an important part in labor dispute handling litigation and it's also the ultimate judicial relief channels for each party. With the market competition intensified, the disadvantaged labor groups highlighted the need to protect the interests and the weak in the relief of its rights affected by a number of conditions imposed on the use of litigation relief, therefore, it is necessary for their rights.

4. Strength triple negotiation, multi-coordination and establish multilevel coordination mechanism of the labor relations. At present, triple negotiation mechanism is an important method of mediating labor relations. This mechanism is in favor of exerting the effect of social democratic mechanism through social conversation, information exchange, common discussion and disputes processing. However, only depending on the triple negotiation mechanism cannot solve all the labor relations problems under the new situation. Therefore, it's pretty necessary to establish multilevel coordination mechanism of labor relations. Particularly, China's basic condition and system is different from developed countries, which decides that China's coordination mechanism should not limited in three parties but explore multilevel labor relations coordination mechanism with Chinese characteristics. Multilevel coordination mechanism doesn't only include the three parties of government, labor union and employer, but also the enterprises, and relevant labor relations coordinating department like the supervision, arbitration and court. In that case, it can reflect that the relevant coordinating departments are fulfilling their duties, connecting and cooperating with each other in order to put into full play in each stage of mediating the labor relations.

Note: Now, China's Labor Union is still an administrative-based organization. The extent of its role is still limited. To be truly representative of the collective rights of workers, China's Labor Union still has many legal issues and practical problems to be studied and solved.

5. Strengthen legal supervision. Further improve and perfect the legal supervision of Labor and Social Security system, to put the National People's Congress of legal supervision, the Political Consultative of democratic supervision, and social role of public supervision into full play, and enhance Labor Law, Labor Contract Law and other laws of supervision and checks to promote the implementation of labor laws and regulations. We should focus on labor supervision and standardization of operation of the monitoring mechanism, by establishing a payment of wages, rest and vacation, the contract changes in behavior, etc., so as to have fair and equitable labor relations in the orbit. We should strongly supervise the organization and construction of control system of labor relation management and expand the coverage of labor guarantee supervision in order to carry out a dynamic management. We should strongly supervise the adaptability and strictness of control system of labor relation management and make the labor security supervision control system can effectively cover all the enterprises and employers with labor relation. On this basis, we should establish rigid labor laws and regulations to punish the system of supervision of law enforcement and we should implement severe punishment on the phenomenon in which people don't abide by the law; the authority don't execute the law strictly or don't punish the people who break the law. Make sure that the development of harmonious labor relations becomes the common responsibility of society as a whole in order to lay a solid foundation of building a harmonious society.

Establishing harmonious labor relations is one of the goals in building the harmonious society, but reaching this goal is an integrated project. The whole society should strive hard for building a harmonious society. We should continuously increase the understanding and cooperation among producers, managers and constructors so as to actively establish a new stable labor relation with good order, rational fairness, mutual benefits and harmony; we should also try our best to realize the win-win labor relations and form a favorable situation which is developed and created by all of us.

REFERENCES

1. Chang Kai. Theory of Workers' Rights. : China Labor and Social Security Publishing Press. 2004. № 6.
2. Yang Yansui. Conspectus of New Labor Law. : Tsinghua University Press, 2008. № 2. P. 174–175.
3. Zhou Baomei. Generality of Labor Law : Qunzhong Publishing Press, 2006. № 6.
4. Zheng Shangyuan. The System and Concept of Labor Contract Law. : China University of Political Science and Law Press, 2008. № 3.
5. Shi Hui. On the Construction of the Harmonious Labor Relations. Digest of Scientific Management, 2004. № 29.

Tao Yuchun, Xu Zhenning

УДК 331.4:656.2

ANALYSIS ON EMPLOYEES' CAREER SAFETY OF RAILWAY TRANSPORT ENTERPRISES

Railway transportation is running in a particular line system, transportation technology organization has the "big linkage machine" feature, which needs Synergies by multi- sectional, such as vehicle, machine, engineering, and electricity sectors; for there are more "combined sectors" in transportation companies, and implicated lots of Production sectors. Therefore, Safety work has a relatively large difficulty. According to statistics, in 2006,there are 111 fatal accidents in railway enterprises, which caused 120 people died, the number of accidents and deaths increased 39 and 42 more than the previous year , increased by 54.1 Percentage and 53.8 Percentage; in which lack of responsibility has caused 58 accidents and 62 people died, 22 more than the previous year, which increased 61.1 % and 55% (Ministry of Railways, 2007). We should pay sufficient attention to the issue of occupational safety on Rail transport employees.

1. The accident causal theory

1.1. The Causal Chain Model theory

In 1930th, W. H. Heinrich put forward the Causal Chain Model theory (also known as the Domino theory) first, that the occurrence of injury and death are caused by many inter-related reasons, and the result of a chain of factors, Namely is the occurrence of casualties is due to accidents, accidents are due to unsafe acts of human or mechanical, physical insecurity, human's unsafe behavior and unsafe state of objects is due to faults caused by human, People's shortcomings and mistakes originate from adverse social environment or inherent genetic factors. As long as taking away one of factors as followed, the genetic and social environment, people's shortcomings, people's unsafe behavior and unsafe state, the incident, hurt, you can undermine the accident chain to prevent the accident. W. H. Heinrich also stressed that the central work for enterprise security is to remove people's unsafe behavior and unsafe structures of objects, and thus interrupt the process of accidents. In fact, the link between the dominos is random. The deficiency of the Domino theory is the absoluteness and simplify of the causes of accidents, and the too much consideration on the human factor.

1.2. The System Theory

System theory regards people, machinery and environment as a system (overall), Research the interactions on people, machine and environment, feedbacks and adjusts, and found the cause of accidents, reveals ways to prevent accidents. Representative is American Surry(J. Surry) in 1969 named Surry model. Surry model is a typical theory which analyzes accident causes according to human's cognitive process.

The model divides the process of accidents into 2 sections, the risk emergence section and the risk release section. These two sections themselves include a group of similar cognitive information processing, that is feel, awareness and behavior responsive. In the risk emergence section, if every segment of human's information processing is correct, the danger can be eliminated or controlled; on the contrary, it will lead to danger to operators. In the risk release section, if all the aspects of human's information processing are correct, although facing the emerged risk, the danger could still be avoided to release, and will not lead to harm or damage; Instead, the danger will be transformed into injury or damage.

1.3. The Path Overlapping theory

The path overlapping theory combined all the positive sides of a variety of the Causal Chain Model theory. The basic idea is: injury is the result of many events occurred interrelated. These events can be summarized into two series, which are the development of human and events. When human's unsafe behavior and unsafe status of objects overlap in certain moment and space, it will lead to energy "upstream" inside the human body, and then accidents would occur.

The reasons why insecurity of human behavior and unsafe status of objects came into being and developed are functioned by many related factors. The path overlapping accident model which composed from the path overlapping theory reflected the overwhelming majority facts of accidents. The practical condition is that only a few accidents were not related to unsafe human behavior and object insecurity, most of them has the relationship with both of the factors.

1.4. Synthetic theory

The integrated theory thought that accidents are not occasional, but have profound causes, which include direct causes indirect causes and basic causes. The direct causes mean insecure state or conditions, and unsafe behavior or actions, these causes of objects, environment, and people constitute the danger factors of production (or called incipient fault). While indirect causes, refer to management deficiencies, management factors and management responsibilities. the factors that lead to indirect causes are called the basic reasons, which include economic, cultural, school education, national habits, social history, law, etc. (Lin zeyan, 1999).

2. Occupational Safety and the causes of the problem

2.1. Leap-forward development of China Railway industry

The experience of developed countries shows that the period when the highest peak of production accidents happened is the time that economy growing fast and heavy industry developing. China railway industry is going through a leap-forward development period; new rail line building, technical equipment upgrade, adjustment of industrial allocation etc. will have a measurable impact on the previous low level steady state, a number of unstable factors also bring about big challenges to the occupational security work of railway staff.

At present, the average mileage per kilometer volume turnover of China railway is about 27.78Mt/km, which is No. 1 in the world. At the same time, the transport organization is mixed passenger and cargo running system, which shares the same line. It is necessary for rail lines to adapt to not only the needs of heavy cargo freight, but also meet the requirements of high speed passenger transportation, further more, the needs of high traffic density should also been taking into account, security management is extremely a difficult task, and the complexity to ensure the safety is much more difficult than other countries (Zheng Guohua, 2007).

2.2. Institutionally lack of protection

In 2003, since the meeting of "Railway Occupational Safety and Health Management System (ROSHMS) pilot spot meeting" convened by the Ministry of Railway, most of Railway Bureaus carried out the experiment and promotion of “ROSHMS”. By the end of 2004, 104 railway stations had launched the creation of “ROSHMS” and passed certification. But recently, some railway bureaus developed slowly on “ROSHMS”. In most cases, when accidents happened, many staffs been punished, many problems put forward, and the whole railway industry paid attention to find out causes and make out measures, but mostly **consider something as it stands, seldom deeply check out the incipient fault, even less on the research of solution.** Frequently, the death control objective been set, the measures and methods to achieve the objective never worked out.

2.3. long-term security input insufficiency

At present, railway operation units have weak foundation in safety protection, inadequate input in safety management, security deficiency problem is serious, even some companies operating under insufficient security conditions, is the main reason of serious incipient fault and frequent occurrence. Currently, the security input of our country accounts for 0.701 percent of GDP, which is 689,800 U.S. dollars / million employees; while in developed countries the proportion could reach 3.3 percent, which is about 5 times of our country. Through several years of emergency expansion construction, the misfit problem of railway industry eased, but the key problem is that the pace of development of the railway has always been slower than economic growth. Railway investment is very limited, which still relies mainly on a single channel, railway construction funds; the input was always insufficient, correspondingly the input of security is also inadequate.

2.4. Inadequate attentions to safety management

After the opening of the railway transport market, it meets with the highly competitive pressures from a variety of ways of transport. Driven by economic interests, a number of rail transport companies can not deal with the relationship between safety and effectiveness, which, to a certain degree, left incipient fault for transport security. Driven by profit, in the

absence of or failure to implement preventive measures for production safety, poor working environment, outdated equipment and other conditions, if workers were forced to work overtime or overload, it will inevitably lead to a large number of accidents. Some units thought that the probability of an accident is very small, thus have the hope of good luck. Management did not follow up the industry, some of the industry's technical standards, design specifications haven't changed for many years, the outdated provisions still implemented. This is obviously not suit to the rapid technology and equipment update.

2.5. poor qualities of employees

Lack of security skills and self-protection ability is the main reason why the work-related accidents occurred. A large number of employees are relatively in poor schooling, low vocational skill level, thus the occurrence of operational troubles is universal. Employees' technical skills are low and lack of ability and consciousness to safeguard rights.

According to statistics of the basic employee situation of railway transport enterprises in 2005, the university and above level only reached 22.1 percent, the middle and senior technical titles only accounted for 33.6%. In the railway industry, some of the major types of employees have low education and technical skills, and are not familiar with the basic rules and regulations, especially in the non-normal circumstances, emergency solve skills and ability to deal with fault are poor. On the other hand, some employees do not have a strong sense of the railway safety awareness, take relax discipline and inevitable accidents thought to work; even some employees do not work actively to find out the reasons after the accident happened, summarize experiences, but to hide facts each other.

3. Recommendations to improve employee occupational security

Occupational security means the feeling of confidence, security and freedom which people get in their career, especially to meet the emotion needs at present or in the future. Employees are not only the undertakers of various types of production and operation activities, but also the victims or people who are responsible for security accidents. Only great importance and totally subjective initiative is attached to production and operation activities, and fully protect their personal rights, can their motives be promoted and thus to boom the sectors.

3.1. Reduce unsafe working conditions

A famous "7 to 4 to 1" economic theory said that, Overall, if the losses caused by occupational diseases and accidents of personal accidents is 7, then prior to the occurrence of such incidents, the investment of production environment toxic dust preventive measures and the corresponding technological transformation is only 4; If enterprises consider the probable occupational hazard, analyze the protective measures with the project design and construction together during the opening period in accordance with horizontal and vertical comparison, then the invest will be just 1.(Sun Shu Han, 2000).

Speed up technical transformation, increase investment, the use of advanced technology and equipment, as well as a sound protection system. even with advanced technology and equipment, as well as a sound protection system, does not constitute a complete security system. Also need to provide a good operating environment, such as lack of natural light or night-time operations to achieve a good lighting, the scene of the original wood material neatly stacked in an orderly, standardized set up a secure channel, Industry work place clean, warning clearly discernible, and so on. people in good environmental practices, and their mental state is better, feel good, easy fatigue, This will help to reduce accidents.

3.2. Promote occupational safety and health management system establishment

Baolong Liu, Safety Science and Technology Research Center of State Administration of Work Safety, who provided complete injury and death accidents data of 22 enterprises, Reached the conclusion that these index of million working hour accidents rate, million working hour deaths rate, million working hour serious injuries rate, million working hour serious minor injuries rate and million working hour accidents loss of working days, have decreased after the occupational safety and health management system was established (Baolong-Liu, 2004), moreover, employee complaints and stakeholders complaints fall down as well.

3.3. Active participation of employees

Employee security awareness, security attitudes, security values and beliefs become the basis for enterprise security management. It is necessary to call for employees to be actively involved in the security frame process, so that managers can easily know where potential security problems are from the staff, and how to resolve the problems; at the same time, security measures involved by employees would be better implemented.

3.4. Reduce unsafe actions

The Causal Chain Model theory regards that human's unsafe behavior and unsafe state of objects are the 2 reasons which result in accidents. In contrast, people's unsafe behavior are even more difficult to predict and control, which only happens by chance, and is subject to political, economic, technological

level, security, quality, health, family environment, social environment factors and so on. In addition, object insecurity in many cases achieved because of human behavior.

The construction of the railway safety culture construction is very important. However, Staff security awareness, quality skills are not only rely on the system management and restraint, we must establish a sound education and training mechanisms, adopt a flexible and diverse forms of education methods to achieve the expected results. There are many other ways to improve the safety awareness of the staff, such as Safety cases discussion, performance, seminars visiting, publicity and entertainment in order to continuously improve staffs' safety awareness. In addition, "The Employee Relation Index "(ERI) questionnaire is a good tool to allocate staffs, and to reduce worker's unsafe behavior.

3.5. Strengthen scientific research and promotion work

Firstly, it is advisable to vigorously develop protective equipment in order to better protect employees' safety. Secondly, enterprises should strengthen cooperation and exchanges, and learn from previous experiences. Thirdly, with reference to the Causal Chain Model theory, analyses and researches of a large number of the actual incidents are necessary, so that simple and intuitive accident model could be built to guide enterprises running smoothly. Fourthly, under the guidance of the Causal Chain Model theory, in order to prevent the reoccurrence of similar accidents, people can take effective preventive measures according to accidents frequency and characteristics. Fifthly, it is necessary to analyze relationship between accidents frequency and operation time, operation proficient level, age, sex, to grasp regular principles, and work effectively and orderly. In addition, in order to provide necessary financial assurance, investment on security of railway enterprises should be enlarged.

REFERENCES

1. Bai Zhongwei. Discussion on strengthening personal safety management of railway transport enterprises // Railway Transport and Economy. 2003. V. (5) P. 44–46.
2. Zheng Guohua, Thinking of improve and perfect the legal system of the railway transport safety // China Safety Science Journal. 2007 V. (5). P. 47–53.
3. Ministry of Railway. The 2006 report on railway labor safety work // Railroad labor safety. Health and environmental protection. 2007. V. 4.
4. Lin Zeyan, chief editor, accident prevention and practical technology // Science and Technology Literature Publishing House, 1999.
5. Chen Lu, Thinking of fatal accidents analysis of railway transportation enterprises during "2000-2005" period and what to do next // Railroad labor safety, health and environmental protection, 2007. V. 2

Zhao Xiaojing

УДК 004.43

LIMITATIONS AND POSSIBILITIES OF TASK-BASED LANGUAGE ASSESSMENT[1]

1. Introduction

Over the last two decades, communicative language teaching has aroused wide interest among educators. Correspondingly, great emphasis has been laid on the improvement of students' ability to use second language as a tool to solve real life problems in different situations. Task-based instruction, an approach orienting towards the achievement of communicative goals in the real world, is widely applied as a representative of communicative teaching. A reflection of the development of such pedagogical approach is the popularity of performance language assessment, among which task-based language assessment (TBLA), with the characteristic of using real world tasks "as the fundamental units of analysis" (Long and Norris, 2001:600), is arousing more and more attention in the area of language testing. The limitations as well as the great potentials of TBLA have been of great concern for language testing designers and researchers.

With an attempt to explore the characteristics of TBLA and to detect its limitations as well as its possibilities, this essay will firstly, identify something re-

[1] This is a working paper for a Jiangxi provincial teaching and research project.

ported in the literature concerning the construct of TBLA. Then some issues as core to the selection of tasks and task difficulty will be introduced. In the fourth and fifth section, of great concern are two basic issues - validity and reliability of TBLA. Inherently related they are, they will be explored separately. The sixth section will shed light on practicability concerns of TBLA. The final section will dwell on the potential wash-back effect of TBLA on language teaching. The purpose of writing this essay, then, is to explore the core features of TBLA - its limitations as well as its possibilities to provide food for thoughts, both for language teaching and language testing research.

2. Construct of TBLA

The most important question to be asked of any test, according to Alderson (1981), is what is it measuring? Therefore, it is not surprising that the construct of TBLA is particularly of a great concern. Is there any difference between the construct of TBLA and that of traditional language tests?

Conventional test methods, be it psychometric language tests represented by the form of multiple choice, or interrogative language tests represented by the forms of cloze and dictation, intend to measure candidates' established knowledge about the target language rather than the actual use of the knowledge. Psychometric tests are typical of assessing candidates' knowledge of discrete skills such as vocabulary, grammar, etc., but one may argue that interrogative language tests, while presenting test-takers a wide range of structural and lexical items in a meaningful context, tend to elicit holistic L2 competence of using the language.

The fact is, in spite of the fact that interrogative language tests are helpful in determining the basic level of language proficiency of a given candidates, they fail to provide any proof of the test takers' ability to actually use the language (Morrow, 1981).

Unlike those conventional tests mentioned above, TBLA focuses on assessing candidates' direct use of language. When it comes to the construct of TBLA, things tend to be a bit complicated. There are two distinctive approaches to TBLA development - one is construct-centred approach, the other is task-centred approach (Bachman, 2002).

On one hand, the advocates of construct-centred appro ach believe that the inferences to be made of TBLA are about underlying language ability. Deville (2001) believes that in designing language assessment tasks, language testers and researchers need to include the knowledge and skills that underlie the language construct. Such specifications should be informed by theory and research on the language construct and the language-learning process as well as by systematic observations of the particulars in a given context. (ibid: 225)

On the other hand, those proponents of task-centred approach hold the view that TBLA is neither to measure candidates' display of discrete linguistic knowledge, nor to elicit learners' defined levels of language ability, but to measure their overall ability to use the language. To be more exact, the objective of TBLA is to measure whether students can use the target language to accomplish target tasks, or, "the construct of interest is performance of the task itself" (Long and Norris, 2001:600).

The distinction of these two approaches, as is evident, points out two ways to interpret test scores. What type of inferences will a test user or stakeholder make - language proficiency elicited from the task or the degree of success in the accomplishment of certain tasks? Considering complexity nature of real-world tasks, which approach to choose and what inferences to make becomes a big issue. Such a validity issue will be re-examined in Section Four of this essay. I would like to point out that through the TBLA literature, it seems that task-centred approach has attracted increasing attention among test researchers and great effort has been made to investigate the construct validity concerning this approach.

However revolutionary this approach looks, to build one's judgement simply on the degree of accomplishing tasks seems to be an over-simplistic view of construct of TBLA. One of the potential problems of this approach, according to Bachman (2002), is that this approach is inappropriate in that it may be impossible to make inferences beyond a test result. Moreover, many educational purposes, such as diagnosis and assessing the achievement of learning objectives remain unattainable through this approach. Another, maybe more fundamental problem raised by Bachman is the kinds of inferences those proponents of task-centred claim, the inferences about the predictions about future performance on real-world tasks. He argues that because of the complexity and diversity of real life domains, it is impossible to generalize across tasks. Bachman puts forward an integrated approach [2], that is, to base our assessment on both tasks and constructs in the way they are designed, developed and used. Bachman argues that such integrate approach, makes it possible for test users to make a variety inferences about the capacity for language use that test-takers have, or about what they can or cannot do. (ibid: 471)

[2] Bachman, at the same time, admits that task specification will present challenge to such a integrate approach, which indicates that this is no easy job, either.

Bachman's integrative approach seems to be reasonable since under most circumstances, inferences made by test users are a combination of the candidates' language competence and the possibility to fulfil certain tasks. Where an assessment is developed to meet the needs of certain specific domain, where needs analysis [3] is thoroughly carried out, task-centred approach is still recommendable. One example is that to measure international air traffic controllers' ability to identify numbers and directions in spoken discourse [4], the purpose of assessment is very specific - to measure whether candidates have the ability to accomplish certain task. In this case, task-centred approach only is absolutely sufficient.

3. Selection of tasks and task difficulty

3.1. Selection of tasks

Regardless which approach is to be taken, in designing a TBLA, selection of tasks becomes a key issue. The particular tasks we provide in our assessment will form the basis for one part of a validity argument, that is, of content relevant and representativeness (Bachman, 2002). What tasks are better at eliciting test takers' best performance to predict their future real world task accomplishment? Performance on which task is predictive of the performance in real-world situations? How confident we are when we make such decisions?

To answer these questions proves no easy job, which involves a careful analysis of characteristics of tasks. Problems raised by Ellis (2003), including (1) representativeness; (2) authenticity; (3) generalizability; (4) inseparability; and (5) reliability, pose a lot of limitations on the selection of tasks. The suggestion of needs analysis by Branden et al (2002) seems to be of great help to solve these selection problems.

Branden describes the development of TIBO, a computerised task-based test of L2 [5] Dutch for vocational training purpose [6]. In the procedure of selecting the task situation, needs analysis was highlighted. Comments of experts involved in this vocational training such as counsellors, language teachers and vocational trainers served as the basis for the selection of situations and tasks in TIBO. Then some certain situations were eliminated by reasons of practicality, economy and methodological reasons.

Brandan et al's approach seems to be informative in that by means of needs analysis, chances are that we may successfully select the most representative tasks. Indeed, the tasks in TIBO may well represent the tasks those candidates will be expected to accomplish in their future vocational training course. Needs analysis is functional in selecting tasks within a specific domain [8]. However, needs analysis may not ultimately settle the whole issue of task selection. Difficulty may arise where test takers are from a variety of backgrounds and where they have broadly ranging needs in real world situation.

3.2. Task difficulty

In designing TBLA, another big issue is task difficulty. Fulcher(1996) collected students' perceptions of several tasks. One interesting finding here is that students of lower ability have more positive opinion on the validity of a certain task, but as the language ability increase, students' perceptions of validity decrease. From this finding, one may reasonably assume there must be a relationship between task type, task difficulty and students' ability. This is a point that arouses great interest of researchers.

Two general approaches have been identified in predicting task difficulties. One is methodological approach, the other is conceptual approach. The former approach is to identify a number of task features that is independent of ability and then investigate the relationships between these characteristics and empirical indicators of difficulty (Bachman, 2002).

Brindley and Slatyer (2002) investigate comparability problem [8] in the context of the Certificates in Spoken and Written English (CSWE), a framework used within the Adult Migrant English Program (AMEP) in Australia. They aim to design tasks to elicit the same behaviours and plan to administer the tasks in the same way in order to assess the same competence. In this study, variables that affect test scores are carefully examined and selected as follows: speech rate, text type, number of hearings, input source (live vs audio-recorded) and item format. Three assessment tasks, of which various combinations were administered to 284 ESL learners, are used. The study observes that two variables - speech rate and item format influence item difficulty. However, as is pointed out by Brindley and Slatyer, due to the complexities of the interactions between task characteristics, item characteristics and candidate responses, simply adjusting one task-level variable will not automatically make the task easier or more difficult. A different study conducted by Elder et al (2002) inves-

[3] The detail of needs analysis will be described in Section Two.

[4] This example is originally from Alderson et al (1995:150).

[5] Second language.

[6] This program will be discussed again in Section Three concerning predictive validity.

[7] In Branden et al (2002), the specific task domain is the vocational training course in the industrial sector.

[8] Comparability problems refer to the lack of generalizability between tasks.

tigates whether performance conditions have great impact on candidates' perceptions of task difficulty or whether different manipulation of tasks influences their language performance. However, the results indicate no systematic variability between task conditions and perceptions of task difficulty.

The alternative conceptual approach is to explicitly identify "difficulty features" which are essentially combinations of ability requirements and task characteristics that are hypothesized to affect the difficulty of a given task (Bachman 2002). Task difficulty matrix is designed by Norris et al (1998) to explore ways to differentiate and sequence assessment tasks according to their difficulty levels. As is illustrated in Table 1, this difficulty matrix involves the combinations of three variables representing code complexity, cognitive complexity and communicative demand[10].

Table 1

Assessment of language performance task difficulty matrix (Adapted from Norris et al 1998: 77)

	easy⇒difficult	easy⇒difficult
	range	number of input sources
code complexity	- +	- +
	input/output organization	input availability
cognitive complexity	- +	- +
	mode	response level
communicative demand	- +	- +

Note: In the task difficulty matrix, a minus sign always indicates less difficulty with respect to component and characteristic relative to the given task, whereas a plus sign always indicates greater difficulty.

A project concerning language processing complexity was conducted by Norris et al (2002). One of the objectives of this project is to adapt notions of cognitive complexity into a framework, the so-called task difficulty matrix as in Table 1, for making quick estimates of "task difficulty", in order to generalize across tasks. Unfortunately, this study suggests that estimates of cognitive task difficulty were not related systematically with task success (Norris, 2002).

All these point towards the fact that difficulty is a characteristic that does not reside in the task alone. They are a result of interaction of different variances (Bachman, 2002). In designing a TBLA, task features and characteristics of testee's must be carefully examined. Every effort must be made to eliminate those possible validity irrelevant variances.

4. Validity concerns

Test validation, which used to give an emphasis on the test items itself as a basis for validation, has evolved to construct-based investigations that focus on test score interpretation and use (Deville 2001:211).

How to make trust-worthy inferences from the scores? Will the scores effectively predict candidates' future performance? Or shall we generalize from the test scores language competence of the candidates? Since construct concerns have been reported in Section Two, the following parts will validate TBLA through face validity, content validity and predictive validity, although some of those aspects are more or less overlapping.

4.1. Face validity

Compared with other tests, TBLA, which put its candidates directly to the simulated real-world activities, will be better at measuring the candidates' competence level in accomplishing real-world task, that is, TBLA is perceived as an approach facilitating a close correlation between what the test takers have to do during the test and what they usually do in the real world, thus retaining high face validity.

Moreover, stakeholders or test users must feel that TBLA provides them with a more trustworthy assessment since it directly measures the candidates' overall task fulfilment rather than discrete-point linguistic knowledge.

4.2. Content validity

In terms of content validity, things become complicated. On one hand, TBLA reflects the syllabus in most of the cases in that theoretically, most of linguistic syllabi place great importance on the students' communicative competence. Although some syllabi do give priority to discrete-point instruction which focuses on grammar and structure teaching, the final goal of such instruction is, exclusively, the use of the language. The tasks in TBLA still elicit the linguistic points such as accuracy, complexity and fluency (see Skehen, 1998) to contribute to the accomplishment of the certain tasks. Three attributes of tasks, namely, learner-centred properties, contextualisation and authenticity, are put forward by Deville (2001) as task features identified in the L2 instructional field. She goes on to argue that these three attributes, which pertain to test design and construction, address content validity issues[11].

[10] Norris et al base these three dimensions on Skehan's framework of task complexity. (Skehan, 1998: 99)

[11] However, Deville insists that content validation needs to be complemented with construct validity research.

On the other hand, since the content of TBLA is expected to reflect the real world communication, whether the selected test task is representative of a wide range of content domains remains an issue. Some problems in investigating content validity have been identified by some researchers. The problems are resulted firstly, from the difficulty of defining the target language use (TLU) domain and secondly, from selecting representative samples from that domain (Bachman, 2002). One may notice that this issue has much to do with what we have described in the selection of tasks, in which the needs-analysis approach is recommended.

The degree of content validity determines how accurate a prediction can be made. In this sense, content domain variances also affect the predictive validity, an aspect we will illustrate in the next paragraph.

4.3. Predictive validity

TBLA meets its challenge when it comes to predictive validity. As is mentioned in Section Two, TBLA is supposed to measure test takers' future performance, that is, it can serve as a predictor of how well a test taker will use the target language under specific L2 domain. Norris et al (2002) collected data of performance by 90 examinees on 13 tasks reflecting a variety of general domains of language use, trying to evaluate the predictive value of examinee's competence in accomplishing certain tasks. The findings of this study indicate that TBLA could inform intended inferences about examinee's likely abilities with a domain of tasks. However, the findings cannot serve as trustworthy basis for predicting examinee's likely ability with other tasks. The problem lies in the fact that the study fails to find any relationship between task difficulty levels and success in accomplishing the task, an issue we have discussed in Section Three.

It may be interesting to re-examine Branden et al (2002)'s program - TIBO[12]. In this program, the researchers design a series of tasks based on needs analysis and subjects it to pilot testing. Subjects involved three groups: one target group, two comparison groups including one of beginners and another one of the advanced. The pilot test scores do suggest a tendency to discriminate the beginners' group from the advanced. However, they do not perfectly discriminate the three groups, thus allowing no firm conclusion about the predictive value of the pass/fail score. A follow-up study, which involves the comparison of the test score and the actual performance in the vocational training course, is suggested by Branden et al to explore the predictive validity of TIBO.

5. Reliability concerns

Although any assessment may inevitably include some aspects of error, the ultimate goal of language test researchers is to provide test users and test takers with reliable results, that is, test designers must make every effort to minimize the sources of errors to the greatest possible degree in order to ensure that the test result is the reflection of test takers' competence rather than anything else.

With regard to TBLA, there are a number of sources which affect the reliability of the assessment. Some task variables are related to the administration of the test procedure. Others may have something to do with the performance conditions or with task characteristics as we have examined in Section Three when discussing task difficulty. Wigglesworth (2001) concludes that even small changes in the characteristic and/or condition of task can be shown to influence the score obtained, which means that test designers must take very precise parameters of tasks into consideration in order to provide a fair treatment for every test takers. Besides those related to the task itself, two factors that one have to take into account are marking criteria as well as inter-rater and intra-rater reliability since TBLA is mostly built on subjective judgement.

5.1. Inter-rater and intra-rater reliability

Given that TBLA is basically a subjective procedure, a major problem in TBLA will probably be how to guarantee the inter-rater and intra-rater marking reliability. To improve inter-rater reliability, two or more raters are recommendable to assess the same task in order to balance the tendency of potential bias towards both ends. Some constructive suggestions are raised by Brindley (1994). The first suggestion is to provide sufficient training to the raters. Such rater training involves familiarizing those raters with the rating criteria and practice in utilizing the criteria to samples of performances across a range of ability levels. According to Brindley, such training will to a large extent insure reliability, however, at the same time he points out that a rater's tendency for severity or leniency in judgements seems to be unchanged even after rater training. This is a factor that affects reliability and cannot be easily accounted for or eliminated from the judgements and certainly it poses a threat to test reliability. To solve this problem, Brindley puts forward further suggestion, that is, to make use of measurement techniques - one such tool is item response theory (IRT), the other is multi-faceted Rasch model.

[12] This program has been mentioned in Section Two.

Measurement using IRT is designed to cope with the perception of difficulty[13]. Based on probability theory, IRT shows the probability of a given person getting a particular item right (Alderson et al,1995:90). Multi-faceted Rasch model, a family of technique IRT, allows candidate ability and item difficulty to be estimated independently and reported so that it adjusts candidate ability to estimates to take account of rater's tendency to rate either harshly or leniently (Brindley, 1994).

5.2. Assessment criteria

Writing assessment criteria into TBLA specification is quite demanding. External rating scales (also referred to as "bands") seem to be the most commonly used method in assessing task performance (Ellis, 2003). To define what someone "**can do**" (Mendesohn, 1989, cited by Brindley, 1994:73) indicates not only describing the tasks but also providing explicit and easy-to-recognize descriptors. Skehan (1998) argues that in writing such descriptors, dimensions chosen must be connected to some underlying theory of language or language cognitive process. His personal preferable dimensions include accuracy, complexity, and fluency. A question raised by Ellis (2003) is: how linguistic competency should be specified, to adopt a holistic method or analytic method[14]?

To define linguistic competency, a range of different approaches has been recommended by Brindley (1994). The first approach is by "expert judgement", that is, to ask expert judges to identify and sometimes to weight the key features of learner performance which are to be assessed. This approach appears to confirm to common sense since experts are always regarded as someone who will provide reliable advice. However, studies indicate that in making such kind of judgement, even experts can seldom arrive to a consensus. Alderson and Lukmani (1989, cited by Brindley, 1994) investigate an examination of item content in EFL reading tests and find that judges' opinion on a range of factors[15] is far from being uniform.

By way of conclusion, a suggestion may be raised here that due to the within-group and between-group differences in experts' opinion, expert judgement should not be regarded as the only basis for determining assessment criteria.

Another approach provided by Brindley is to adopt those criteria that already existed, that is, to use their marking scale descriptors as guidance. However, one issue of using this approach is whether such general rating criteria is suitable to define the particular tasks.

The third approach by Brindley is genre-based approach, that is, to describe and assess language task performance that is underpinned by a powerful linguistic theory. However, to reach a systematic and trust-worthy conclusion, the amount of empirical research work one has to be involved is too much that this approach is doomed to meet its practicability challenge.

The research seems to have reached no solution, and it is obviously impractical to wait for a definite answer. The easiest approach for a test designer now, is to refer to an existed framework to define language proficiency. Of the major concern is that those established rating scales may be too holistic or too abstract[16] to measure the *precise difference* between test takers, especially those scored at borderline. The rating scales of Common European Framework of Reference for Languages: Learning, teaching, assessment (CEF)[17] seems to be recommendable. Instead of describing language competence in an abstract way, the descriptors used in CEF are based on "**can do**" principle, thus it may provide both raters and test users practicable, easy-to-approach criteria.

In all, there exist reliability concerns that will result in the uncertainty in TBLA and such uncertainty also arises with any forms of testing which involve subjective judgement. However, careful and considerate administration will surely minimize such kind of uncertainty.

6. Practicability of TBLA[18]

One reason that some test designers are hesitant in adopting TBLA may be due to the difficulty of administering such tests. One thing is that in administrating TBLA, even subtle variance may change the

[13] As we have described in Section Three, the same task may be perceived as difficult by students of lower level but as easy by students of higher proficiency.

[14] By analytic method, Ellis means to identify the four language skills for rating separately. And he also reports that many performance tests include both methods. Alderson et al (1995) points out that it is up to the institution to decide whether or how to combine these different ratings to provide an overall mark.

[15] Those factors include what particular items are testing, how difficult each item is and which particular level should the item be assigned to.

[16] For example, some exam adopts criteria such as "native-like proficiency" or "expert users". Those criteria are abstract and disputable in themselves and without any universal standard.

[17] The detail of CEF is accessible through the website: http://www.culture2.coe.int/portfolio/documents/0521803136txt.pdf

[18] See also Norris et al (1998), Brindley (1994).

inferences of the test results. As is mentioned above, administrative variances pose a great threat to the validation of TBLA. The other aspect is that administrating TBLA is rather time-consuming and expensive. In traditional paper-and-pencil tests, one teacher may design a test and adopt the same test to a group of students at the same time and rate the papers afterwards. The procedure seems simple yet trust-worthy. However, when it comes to TBLA, normally one rater has to rate candidates one by one, that is, while one candidate is being tested, other candidates have to wait outside. Considering that the topics of the tasks are easy to be spread, chances are that some candidates may get the information in advance and may have a good preparation. To prevent such kind of cheating, examiners have to take some action to minimize the possibility that one candidate gets test information from others ahead of being tested. One precaution may be to design a wide range of topics to reduce the appearing frequency of the same task topic; another precaution is to employ more hands - either to serve as extra raters[19] or to keep the other candidates in a waiting room. Both ways, as is evident, are rather energy-consuming and expensive. Investment on such administration, together with the investment on teacher training on the rating reliability we have mentioned above, constitutes a big practicality problem. In case of large-scale test, such problem becomes even conspicuous.

It seems that the issue of practicality intends to lead to the conclusion that TBLA is quite undesirable. However, this is not necessarily the case. The potential validity we have mentioned above and the favourable wash-back gains to be presented in the following section are more than sufficient to outweigh such practicability disadvantage.

7. Positive wash-back effect of TBLA

In spite of some limitations we have mentioned above, a number of positive features of TBLA have been perceived by researchers and language teachers as means of promoting "positive wash-back effects of assessment practices on instruction" (Mislevy et al, 2002:477).

Compared with traditional tests, TBLA tends to raise both the instructors and learners' awareness of using language as a tool rather than taking language itself as an end. As a result of such assessment, undoubtedly communicative language teaching and learning will be attached more importance. Moreover, judging learners' language competence through meaningful use enables both the teachers and students to be conscious of the strength and the weak points of both teaching and learning. In this way, it provides them with diagnostic feedback and promotes effective teaching and learning.

Ellis (2003) puts forward the idea that TBLA plays an important part in formative assessment[20]. He defines TBLA broadly by integrating the on-going contextualized assessment undertaken in language classroom into it. Then he further divides the involving tasks as planned and incidental, thus forming planned formative assessment and incidental formative assessment. The former assessment involves the classroom use of direct tests, while the latter refers to the *ad hoc* assessment that teachers (and students) carry out as a part of the performing a task selected for instructional purpose. Both kinds of task-based formative assessment, according to Ellis, will provide explicit and systematic information and instruct teaching and learning.

Ellis's proposal TBLA is a good agent to be used as a formative assessment is rather convincing, although one may be slightly in doubt whether Ellis is trying to mix testing with instruction because task-based incidental assessment, due to its tentativeness and informality, would better be classified as reflection of instruction rather than assessment. Whatever name it is given, one thing is certain, TBLA, if managed well, will to a great extent give inspiration to both teaching and learning.

TBLA, a typical communicative assessment, sometimes may change people's conception of teaching to such a large extent that it may facilitate communicative instruction or even reshape the entire curriculum to a meaning-focused orientation. A case in point is in Byrnes (2002), where he discusses how a task-based writing assessment system developed by teachers in a German program contributes greatly to an enhanced knowledge base and a new educational culture. In this study, the role of tasks and TBLA are explored to such an extent that, as Byrnes advocates, they "shifted its entire undergraduate curriculum from a form-based normative approach to a language use and language-meaning orientation for instruction" (ibid: 419). Study of Byrnes also reminds us that involving practitioners into the development of task-based classroom assessment will most probably make great differences in their teaching orientation, thus creating considerable positive wash-back.

8. Conclusion

From the above analysis, we may find that the value of TBLA is by no means ignorable: it provides a means of measuring actual use of language directly; it

[19] As is mentioned before, this will result in inter-rater reliability concern.

[20] He first confirms the summative role of TBLA.

inspires teachers and learners to focus on language as a tool rather than as fixed knowledge; it allows both teaching and learning to monitor progress and tailor orientation. At the same time, designing TBLA is no easy job. There are a lot of limitations ranging from construction to scoring. Therefore, the design of TBLA requires considerable expertise. The test developers have to make every effort to identify potential threats to test validity and endeavour to eliminate most, if not all, of them. After all, it is up to test developers to provide valid and reliable tests for stakeholders and test users. Only through the hard work of test developers will sound inferences based on the test results be made.

REFERENCES

1. Alderson J. C. Report of the discussion on communicative language testing. : *Issues in language testing* / ed. : Alderson, J. C., Hughes, A. London : The British Council, 1981.
2. Alderson J. C., Clapham C., Wall D. *Language Test Construction and Evaluation.* Cambridge : Cambridge University Press, 1995.
3. Bachman L. F. Some reflections on task-based language performance assessment // *Language testing.* 2002. Vol. 19, № 4. P. 453–476.
4. Branden K., Depauw V., Gysen S. A computerized task-based test of second language Dutch for vocational training purposes // *Language testing.* 2002. Vol. 19., № 4. P. 438–452.
5. Brindley G. Task-centred assessment in language learning: the promise and the challenge / ed. : Bird N., Falvey P., Tsui A.B.M., Allison D. M., McNeill A. // *Language and learning.* 1994. P. 73–94.
6. Brindley G., Slatyer, H. Exploring task difficulty in ESL listening assessment. *Language testing.* 2002. Vol. 19, № 4. P. 369–394.
7. Byrnes H. The role of task and task-based assessment in a content-oriented collegiate foreign language curriculum // *Language testing.* 2002. Vol. 19, № 4. P. 419–437.
8. Deville M. C. Task-based assessments: Characteristics and validity evidence / ed. : Bygate M., Skenhan P., Swain M. *Researching pedagogic tasks: second language learning, teaching and testing.* Harlow: Pearson Education Limited. 2001
9. Elder C., Iwashita N., McNamara. Estimating the difficulty of oral proficiency tasks: what does the test-taker have to offer? // *Language testing.* 2002. Vol. 19, № 4. P. 347–368.
10. Ellis R. *Task-based language learning and teaching.* Oxford : Oxford University Press. 2003.
11. Fulcher G. Testing tasks: issues in task design and the group oral // *Language testing.* 1996. Vol. 13, № 1. P. 23–51.
12. Long, M., Norris J. Task-based language teaching and assessment // *language teaching & learning.* London : Routledge. 2001.
13. Mislevy R. J., Steinberg L. S., Almond R. G. Design and analysis in task-based language assessment // *Language testing.* 2002. Vol. 19, № 4. P. 477–496.
14. Morrow K. Communicative language testing: revolution or evolution? / ed. : Alderson J. C., Hughes A. // *Issues in language testing.* London : The British Council, 1981.
15. Norris J. Editorial // *Language testing.* 2002. Vol. 19, № 4.
16. *Designing second language performance tasks* / Norris J., Brown J. D., Hudson T., Yoshika J. Honolulu : University of Hawaii Press, 1998.
17. Examinee abilities and task difficulty in task-based second language performance assessment / Norris J., Brown J. D., Hudson T., Bonk W. // *Language testing.* 2002. Vol. 19, № 4. P. 395–418.
18. Skehan P. *A cognitive approach to language* learning. Oxford : Oxford University Press, 1998.
19. Wigglesworth G. Influences on performance in task-based oral assessment : Researching pedagogic tasks : second language learning, teaching and testing / ed. : Bygate M., Skenhan P., Swain M. Harlow : Pearson Education Limited, 2001.

Mao Xiaodun, Xu Zhenning УДК 656.2

DISCUSSION ON MANAGEMENT OF NANCHANG JOINT VENTURE RAILWAYS

Joint venture railway is the railway which was built and operated by the railway department and other sectors which includes local governments, enterprises or other investors. In joint venture railway companies which have a diversified invest subjects, In order to realize coordinated and balanced development with national railway, and shape an interactive mutual benefit situation, how to choose the best operation and management mode and build coupled systems, regulatory system, is a problem which we should research and discuss urgently at present.

1. The current joint venture railway management mode of Nanchang Railway Bureau

Nanchang Railway Bureau has put three companies into operation, which are Wuyi Mountain Company, Quanzhou Company and Longyan Company, and the current management and operation mode is "self-conduct." All of the three joint venture railway companies have established independent dispatch and control systems, and have also set train service segments and engineer sections. In the locomotive application, the majority is self-supported; the rest is rent from the national railway locomotives.

The relative independence of joint venture railway determines that the national railway and the joint venture railway could mainly communicate through corporate governance organizations such as the board and shareholder's meeting, but not be interfered and commanded by means of administration directly. As the artery of the national economy, the railway is connected on-line. In order to develop the railway network function, and fully make sure it could work smoothly, every railway transport enterprise must comply with the uniform command. As one part of the national railway network, the joint venture railway is no exception. The management over the three joint venture railways of Nanchang Railway Bureau is mainly in the following aspects:

1) The Nanchang Railway Bureau represents the Ministry of Railways to exercise the rights and interests of holders, and manage all the Joint venture companies. The joint venture railway administration not only undertakes guidance and coordination, but also works as the secretariat of board of directors.

2) Joint venture railways must observe the rules and regulations of the Ministry of Railway, comply with the unified commands and managements, observe the transportation orders, and execute overall railway schedules and train grouping plans.

3) According to the rules of the Ministry of Railway, the joint venture railway transportation schedules should be brought into the national transportation programs. When the relative management sectors working out the schedules, they should work with the joint venture companies to make reasonable arrangements of load, track, and so on. The monthly cargo transport and engineer plan should be brought into national railway transportation schedule system.

4) According to the rules of the Ministry of Railway, the transportation schedule of the Joint venture railways was commanded by the Nanchang Railway Bureau, and a series of rules should be established in order to successfully operate the management.

5) The Joint venture railways should comply with security rules and regulations of the Ministry of Railway and Railway Bureau. Furthermore, it will be supervised, checked, trained, analyzed accident, rescued, and punished by the Nanchang Railway Bureau.

2. The major problems in the current management and operation mode

2.1. The weak professional management of Railway companies

Because the railway operation procedure is various, and collaboration is quite necessary, joint ventures cannot set professional management and provide professional management staff according to profession. It is rather difficult to professionally manage

railway operation, maintenance, engineer, electric work, communication, vehicle, water supply and so on. The low quality of workers, inadequate investment, regulatory and supervisory mechanism lead to big gap of equipment, security foundation between joint ventures and national railways, which seriously affect transportation security and requirement of railway acceleration.

For example, because transport conditions are not unified and equipment standards are inconsistent between Wuyi Mountain railway companies and the National Railway, it has directly affected the security of Fuzhou to Beijing railway since the sixth national railway acceleration.

2.2. Railway network superiority cannot be fully played

Characteristics of the railway network determines that the joint venture railway and national railway have a lot of particularity of management and relevance of operation in scheduling command, transport organizations, vehicles transfer, transport product development, collaboration and so on. Because the distribution of current joint ventures in Fujian is rather loose, and the size of joint venture is "small and complex", which result in poor play of scale efficient.

2.3. High cost of production and management, and the allocation of resources need to be further optimized

The basic railway condition of Joint ventures is bad; especially part of national railway is congenital deficient. As a result of influence of fund supply ability and own service ability, joint ventures has difficulty to simultaneously achieve equipment level of national railway. Mechanism advantages of joint ventures are not fully played, and "small and complex" status still exists, and chance of resource compatibility, virtuous interactive and overall plan is still possible.

2.4. Railway Bureau management methods left behind

Management methods, practices and policies of joint venture railway need to be further improved. Some Nanchang Railway Bureau departments still regard joint venture companies as simple railway sections, and neglected their legal independence. They still randomly set evaluation approach, excessive inspections and assessments. Besides, joint ventures and railway stations comply with the same regulations, this not only confused industry management and equity management, but also got mixed up market trading relationship.

2.5. Labor resources cannot be full made use of

With the application of advanced technology and changes of labor organizations and production organization, joint ventures got a certain amount of surplus labor, which is difficult to arrange. But because of different management systems between national railway and joint venture railways, workers cannot migrate between each other, which result in labor waste, and may lead to unstable actions.

3. New joint venture railway management mode-------the entrusted operation and management mode

According to principle of in favor of transportation resource schedule, dispatch and command, strengthening professional management, orderly and controlled transport, improvement of efficiency and benefit, in the premise that no change on joint venture company's name, the status of legal entity, the location of paying taxes, the transport district, the right of property and the completeness of financial incomes, we should reduce management departments, strengthen professional management, optimize allocation of recourses, unify dispatch and direction, and operate the management mode that the transport capital operation depart from the transport product operation. It means implement the management mode that three joint venture companies' capital ownership depart from production operation right, and then entrust the production operation right to Nanchang Railway Bureau, implement responsibility objective management mode.

After implementation of the new mode of operation and management, integrated transportation production resources, and improved assets utilization benefit. To purchase and maintain equipments of joint railways, like vehicle, railway engineering, and electrical engineering etc. It can fully make use of all manner of resources that already exist in national railway, reduce accelerated investment and repeated allocation, tap the idle assets step by step, thereby, the appearance of "small and complete" of joint venture railways will be changed.

Лонцих П.А.

УДК 005.6

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ КАЧЕСТВА. РАЗРАБОТКА ПОЛИТИКИ В ОБЛАСТИ КАЧЕСТВА

Разработка, внедрение и сертификация систем менеджмента качества на предприятии любой формы собственности и предмета деятельности в соответствии с Уставом предприятия должны удовлетворять требования Международного стандарта ИСО 9001:2008. Стандарт ГОСТ Р ИСО 9001-2001 предполагает наличие шести следующих обязательных документированных процедур: управление документацией; управление записями; внутренние аудиты; управление несоответствующей продукцией; корректирующие действия; предупреждающие действия.

При **анализе эффективности систем менеджмента качества,** прежде всего, следует оценивать основные виды деятельности, выполняемые руководством, определить ответственность руководства. Именно эта деятельность вносит основной вклад в определение результативности и эффективности работы компании. Стандартом даны четкие определения **результативность:** «Степень реализации запланированной деятельности и достижения запланированных результатов», а **эффективность:** «Соотношение между достигнутым результатом и использованными ресурсами». Другие определения этих параметров следует сформулировать в виде: «**Результативность** – связь между достигнутым результатом и использованными ресурсами (ИСО 9000). **Эффективность** – мера глубины, до которой реализованы запланированные виды деятельности и достигнуты запланированные результаты (ИСО 9000)».

Наиболее адекватным критерием анализа и оценки эффективности разработанной системы менеджмента качества предприятия является ее сертификация. Сертификация систем менеджмента качества по стандартам серии ISO 9000 является общепринятой демонстрацией стабильности качества, в том числе и в области образовательной деятельности и промышленного производства. Она лучше всего свидетельствует о том, что компанией соблюдаются и выполняются требования определенные международными стандартами. Сертификат соответствия серии ISO 9000 служит для потребителей основным критерием отбора при выборе организаций и гарантией качества оказываемых услуг. Сертификация систем менеджмента качества (СМК), применяется в целях подтверждения выполнения в организациях требований стандарта **ГОСТ Р ИСО 9001-2001 (ISO 9001: 2000).**

Наличие сертифицированной системы позволяет предприятию:

- усовершенствовать организационную структуру управления и повысить ее эффективность;
- повысить уровень качества продукции или услуг;
- увеличить объем сбыта продукции;
- снизить непроизводительные затраты (потери при производстве, брак, рекламации);
- реализовывать выпускаемую продукцию по мировым ценам;
- повысить имидж компании в глазах иностранных и российских партнеров, инвесторов;
- побеждать в конкурентной борьбе;
- предоставить возможность получения льготных кредитов;
- формировать общественное мнение о стабильном и прочном положении предприятия на рынке;
- предоставить возможность получения государственного, муниципального или городского заказа на производство работ и услуг.

Одной из приоритетных задач топ- менеджмента является разработка видения, миссии, политики и целей предприятия. Рассмотрим подробнее вопросы разработки **политики** предприятия в области качества. В условиях рыночной экономики каждая организация самостоятельно вырабатывает и реализует свою политику. Политика организации провозглашает намерения ее руководства по защите интересов организации и используется для выработки целей текущего и долговременного развития организации. Политика организации свидетельствует о том, что ее руководство придерживается четко обозначенных подходов и принципов,

базирующихся на определенной системе взглядов. Документально оформленная политика в области качества дает возможность работникам организации, а также потребителям и поставщикам получить четкое представление об официальном отношении руководителей организации к качеству. По ней можно судить о **месте, которое занимает или стремится занять организация в рыночной экономике**. По политике в области качества можно составить суждение об отношении организации к потребителям своей продукции. Отсутствие ясной политики делает деятельность организации в области качества неопределенной и непредсказуемой. Наличие политики в области качества организации является обязательным требованием семейства стандартов ИСО 9000.

Новая версия стандартов (МС ИСО 9001:2008) значительно повышает требования к ответственности руководства организации за качество и, как следствие, к политике в области качества.

Согласно требованиям стандарта политика в области качества должна, прежде всего:
- соответствовать назначению организации;
- включать обязательства по удовлетворению требований к качеству и постоянному улучшению качества;
- создавать основу для постановки и анализа целей в области качества;
- демонстрировать приверженность высшего руководства к качеству;
- быть распространена и внедрена во всей организации;
- быть понятной каждому работнику организации;
- подвергаться регулярному анализу с целью адаптации ее к изменившимся условиям.

При разработке политики в области качества следует:
- оценивать ожидаемый уровень удовлетворения потребителей с учетом конкуренции на своем сегменте рынка;
- принимать во внимание баланс между удовлетворяемыми нуждами заинтересованных в деятельности организации сторон (потребителей, собственников и инвесторов, наемных работников, поставщиков, партнеров, общества) и вкладом каждой заинтересованной стороны в достижение целей организации;
- оценивать риски при решении задач в области качества;
- оценивать благоприятные возможности для постоянного улучшения качества;
- идентифицировать необходимые ресурсы и опасности поставщиков организации и ее партнеров.

Политика в области качества служит базой для разработки стратегии в области качества, ориентированной на будущее организации.

В отличие от политики в области качества, которая должна быть "открытой" для всех заинтересованных в деятельности организации сторон, стратегия в области качества является "закрытой", т.е. внутренними, не подлежащими широкому оповещению долговременными планами организации.

Политика в области качества должна быть согласована с общей политикой организации и представлять цели в области качества на различных уровнях менеджмента. На основе политики в области качества организации руководителями ее структурных подразделений могут разрабатываться политики в области качества этих подразделений. Сформулированная, распространенная и вступившая в силу политика в области качества должна:
- гарантировать приверженность к качеству на всех уровнях организации и во всех ее звеньях;
- давать основные направления деятельности организации в области качества;
- приводить к видимым результатам деятельности в области качества.

В общем случае политика в области качества может включать в себя следующие последовательно излагаемые части:
- общие намерения высшего руководства в области качества;
- направления деятельности организации в области качества;
- основополагающий девиз организации в области качества.

Общие намерения высшего руководства в области качества могут быть выражены его стремлениями придерживаться базовых принципов менеджмента качества, изложенных в ИСО 9000:2000 (раздел 2). Направления деятельности организации в области качества могут выражаться основными путями (организационными задачами) выполнения намерений. Девиз должен отражать концептуальное отношение организации к качеству и является принадлежностью как организации в целом, так и каждого работника в отдельности. Являясь основополагающим принципом организации, девиз вместе с тем обращен ко всем заинтересованным в деятельности организации внешним сторонам. Не соблюдение основополагающего принципа, как впрочем, и любого декларирован-

ного положения политики в области качества, неизбежно ведет к потере репутации со всеми вытекающими из этого последствиями.

Политика организации в области качества оформляются в виде письменного заявления (декларации) и подписывается руководителем организации. Подписание политики иными должностными лицами (например, заместителем руководителя по качеству) нежелательно, так как это умаляет ее значение. Подписанную руководителем организации политику в области качества целесообразно дополнить документально оформленными обязательствами, которые могут быть сформулированы в следующем виде: “Изучив политику в области качества, мы берем на себя обязательства участвовать в ее реализации и не принимать никаких решений и действий, противоречащих этой политике. Мы обязуемся также поддерживать в рабочем состоянии действующую в организации систему менеджмента качества и содействовать ее дальнейшему совершенствованию”.Данные обязательства подписываются заместителями руководителя организации и другими должностными лицами, включенными в состав высшего руководства.

Политика в области качества (и обязательства других членов высшего руководства) включаются в Руководство по качеству. Рекомендуется художественное (полиграфическое) оформление политики в области качества, подчеркивающее исключительную значимость данного документа для организации. Все положения политики в области качества должны быть изложены понятным для всех заинтересованных сторон языком. При формулировании политики в области качества следует иметь ввиду, что организация должна доказать реальность всех ее положений.

В общем случае порядок разработки, доведения до персонала и актуализация политики в области качества выполняется по определенной схеме:

- разработка первой редакции политики в области качества по поручению руководителя организации возлагается, как правило, на рабочую группу специалистов, включающую представителей служб качества, маркетинга, персонала и возглавляемую заместителем руководителя организации по качеству;
- рабочая группа осуществляет сбор необходимых исходных данных и на основе их анализа формулирует основные положения политики в области качества;
- разработка девиза в области качества может осуществлена путем целевой деловой игры участников рабочей группы (либо Координационного Совета) или организацией специального конкурса, к которому может быть привлечено максимально большое число членов трудового коллектива;
- первая редакция политики в области качества подлежит обсуждению на заседании Координационного Совета;
- на основе анализа замечаний и предложений членов Координационного Совета заместитель руководителя организации по качеству составляет уточненный проект политики в области качества;
- уточненный проект политики в области качества рассматривается Координационным Советом, после чего он представляется на рассмотрение руководителю организации;
- в случае согласия с проектом политики руководитель подписывает ее, после чего политика в области качества вступает в действие;
- приказ доводится до сведения руководителей подразделений организации, которые в свою очередь доводят ее до сведения работников путем обсуждения сущности политики в ходе учебы по качеству и на производственных совещаниях.

Формами доведения политики в области качества является: разъяснение ее в местной печати, на радио и телевидении, а также распространение плакатов и транспарантов, размещение политики в производственных и служебных помещениях, местах, обеспечивающих восприятие политики максимально большим числом работников и посетителей (проходные, приемная, актовый зал, столовая и т.д.).

Анализ и оценку степени выполнения политики в области качества осуществляет руководитель организации на основе регулярно представляемых материалов службы качества. Разработку предложений по актуализации и пересмотру политики в области качества (с учетом предложений различных должностных лиц) осуществляет служба качества. Основанием для пересмотра политики в области качества может быть возникновение обстоятельств экономического или иного характера, в результате которых объявленные намерения и направления не могут быть реализованы или когда они недостаточно эффективны. Решение о пересмотре политики в области качества принимает руководитель организации.

Стандарт ИСО 9001:2000 (равно как и редакция 2008 года) не меньшее значение, чем формирование **политики** при разработке и внедрении системы менеджмента качества, придает разработке **целей**.

Согласно стандартам ИСО 9001 (п. 5.4.1) и ИСО 9004 (п.5.4.1), каждый из которых, соответственно, является базовым - либо при сертифика-

ции системы менеджмента качества, либо для ее совершенствования и удовлетворения критериям качества согласно модели EFQM. Эти же требования, очевидно, актуальны при претензиях на удовлетворение критериев, выработанных условиями Премии правительства в области качества. Для обеспечения надлежащего планирования в системе менеджмента качества должны разрабатываться цели в области качества.

Цели в области качества определяют предполагаемые результаты, необходимые для достижения этих результатов. Достижение целей в области качества обеспечивает позитивное воздействие на качество продукции, экономические показатели деятельности организации и, следовательно, на удовлетворенность работников своим трудом и рост доверия к организации всех заинтересованных сторон. Разработка и актуализация целей в области качества относится к процессам системы менеджмента качества, связанным с ответственностью руководства организации. Цели в области качества позволяют сконцентрировать внимание руководителей на существующих и перспективных возможностях организации в решении проблем качества, определяют приоритеты работ в системе менеджмента качества, обеспечивают понимание работниками направлений достижения конечных результатов в области качества. Без четко определенных целей деятельность в системе менеджмента качества является неопределенной, неориентированной во времени и, в конечном счете, может стать просто лишенной смысла. Разработка развернутой системы целей в области качества и их своевременная актуализация являются новой и достаточно сложной деятельностью в организации.

Цели в области качества определяют необходимое (желательное, возможное) конечное состояние системы менеджмента качества, процессов и продукции. Цели в области качества охватывают всю организацию по вертикали (от руководителя организации до рядового рабочего) и по горизонтали (все подразделения организации). Цели в области качества дополняют другие цели организации, такие, которые связаны с приростом финансирования, рентабельностью, охраной окружающей среды, профессиональным здоровьем и безопасностью. В области качества в зависимости от направленности, цели могут быть:

- внешними, т.е. направленными на решение проблем организации за её пределами;
- внутренними, т.е. направленными на решение внутренних проблем организации.

Постановка внешних целей в области качества может быть обусловлена необходимостью:

- повышения конкурентоспособности продукции (услуг) организации на внутреннем и внешнем рынках;
- расширения сегмента рынка;
- удовлетворения интересов партнеров, спонсоров, поставщиков, государства, общества;
- повышения имиджа организации.

Постановка внутренних целей в области качества может быть обусловлена необходимостью:

- определения требуемого конечного состояния процессов системы менеджмента качества;
- повышения уровня качества продукции (услуг);
- совершенствования или развития системы менеджмента качества;
- постоянного улучшения.

В зависимости от объекта цели в области качества могут быть:

- цели, относящиеся к качеству продукции;
- цели, относящиеся к системе менеджмента качества;
- цели, относящиеся к отдельным процессам.

В зависимости от длительности достижения цели в области качества могут быть: стратегическими, среднесрочными, краткосрочными, оперативными.

К стратегическим относятся цели, достижение которых предусматривает достаточно длительный период времени - от трех и более лет. Стратегические цели определяют на период, когда ожидаются столь значительные изменения в деятельности организации, что по существу можно говорить лишь о самом общем видении будущего. Примерами стратегических целей могут быть позиции, рассмотренные в работах [2,3]:

- "Расширить долю рынка продукции в натуральном (денежном) выражении до 20% к 2010 году";
- "В течение 5-ти лет увеличить объем продаж продукции в 2 раза";
- "В течение 3-х лет снизить количество отказов на сопоставимое количество продукции на 50%".

К среднесрочным относятся цели, достижение которых предусматривает период времени от 1 года до 3-х лет. Среднесрочные цели определяют на период, когда в деятельности организации ожидаются не столь значительные, как при стратегическом планировании, изменения. Примерами среднесрочных целей могут быть, как показано в работе [3]:

- "В течение 2-х лет разработать, внедрить и подготовить к сертификации систему менеджмента качества, отвечающую требованиям стандартов ИСО серии 9000";

- "В течение 2-х лет освоить и выпустить на рынок новую модификацию такой-то продукции";
- К оперативным относятся цели, достижение которых предусматривает период времени до 1 года.

Примерами краткосрочных целей являются цели, устанавливаемые в годовых планах организации. В зависимости от содержания мер, направленных на достижение целей, цели в области качества могут быть соответственно позиции:
- экономические (например, цели, связанные со снижением себестоимости продукции за счет уменьшения затрат на качество, сокращением относительных потерь от невыполнения или ненадлежащего выполнения обязательств перед клиентами и др.);
-организационные (например, связанные с совершенствованием организационной структуры, повышением эффективности менеджмента качества и др.);
- социальные (например, цели, связанные с созданием инициативных творческих групп, повышением мотивации труда и др.);
- технические (например, цели, связанные с разработкой и освоением новых видов продукции с повышенными техническими характеристиками, совершенствованием технического обслуживания продукции, внедрением статистических методов контроля продукции и др.).

Экономические, организационные, социальные и технические цели по длительности их достижения также могут быть стратегическими, среднесрочными, краткосрочными и оперативными. В зависимости от уровня действия цели могут рассматриваться:
- на уровне всей организации;
- на уровне одного или нескольких структурных подразделений;
- на уровне производственной бригады и инициативной творческой группы (ИТГ);
-на уровне исполнителя.

Входными данными для разработки и актуализации целей в области качества являются:
- миссия организации;
- базисные ценности организации;
- политика в области качества;
- интересы владельцев, акционеров, наемных работников, спонсоров, партнеров, поставщиков, государства, общества;
- изменения во внешней среде.

Выходными данными разработки и актуализации целей в области качества являются официально установленные цели, служащие основой для планирования качества. Руководителем разработки и актуализации целей в области качества является руководитель организации.

Цели в области качества организации должны быть оформлены в виде самостоятельного документа, являющегося конкретизацией положений политики в области качества на определенный временной период.

В данном документе устанавливаются:
- главная стратегическая цель организации и конкретные цели в области качества, вытекающие из стратегической цели организации;
- декомпозиция целей в области качества с установлением критериев оценки, сроков реализации целей и ответственных за выполнение. Дальнейшая декомпозиция целей осуществляется до уровня низовых звеньев организации.

Процедура разработки и актуализации цели в области качества предусматривает выполнение ряда операций.

1. Выявление проблемы, что предусматривает:
- выявление проблемы, связанной с разработкой цели, предусматривает изучение состояния дел в области качества и обоснование предложенной цели;
- изучение состояния дел в области качества осуществляет служба качества организации (к изучению могут привлекаться специалисты других подразделений организации; при необходимости распоряжением руководителя организации может быть создана временная рабочая группа);
- на основе изучения состояния дел по качеству выдвигаются предложения для постановки цели.

Отобранный вариант цели подлежит тщательному формулированию.

2. Формулирование цели предполагает:
- формулирование цели, которое осуществляют участники выявления проблемы. В свою очередь выдвинутая цель:
- должна быть основана на политике в области качества;
- должна конкретизировать желаемый, возможный или необходимый конечный результат;
- должна ориентировать на получение, в результате ее достижения, увеличения добавленной стоимости;
- должна иметь определенный срок ее достижения;
- не должна вступать в противоречие с другими целями;
- должна быть реально достижимой в пределах наличного или ожидаемого объема ресурсов;
- должна предусматривать возможность измерения полученного при ее достижении конечного результата;

- должна создавать мотивацию для работников организации.

Формулировка цели, т.е. ее содержательное изложение в письменной форме, должна быть четкой, лишенной расплывчатости, понятной для всех участников ее достижения. Цель может иметь качественную (описательную) или количественную формулировку. Предпочтительной является количественная формулировка цели, поскольку она характеризуется большей конкретностью и четкостью и может выступать ориентиром в деятельности организации.

Определение критериев оценки достижения цели предполагает, что каждая выдвинутая цель имеет критерий (критерии) ее достижения. Установление критериев достижения цели обеспечивает ее измеряемость.

При установлении критериев достижения цели определяются:

-объект измерения (финансы, продукция, материалы, оборудование, деятельность, работники);

-способ измерения (метод прямого счета, метод соотношений, метод описания);

- конечные критерии (время, издержки, потенциальная стоимость, объем).

Анализ достижения цели заключается в том, что установленная цель подлежит периодическому анализу со стороны руководства организации. Задачами анализа цели являются оценка ее результативности и эффективности и определение необходимости актуализации или пересмотра цели Оценка результативности и эффективности цели ведется по установленным критериям ее достижения.

Необходимость актуализации цели, т.е. внесения в нее соответствующих изменений, может вызываться множеством факторов, к числу которых относятся:

- повышение требований к качеству продукции ее потребителями;

- повышение требований к деятельности организации в области качества заинтересованными сторонами (персоналом, партнерами, спонсорами, поставщиками, государством, обществом);

- изменения, внесенные в политику в области качества;

- совершенствование ассортимента (номенклатуры) продукции;

- внедрение новых методов (инструментов менеджмента качества) и др.

При необходимости актуализации цели в нее вносятся необходимые изменения, разработку проекта актуализированной цели и представление его на утверждение осуществляет должностное лицо, которому поручается данная разработка.

Ответственность за выявление и формулирование цели и определение критериев оценки достижения цели и развертывание цели несет руководитель службы качества. Ответственность за утверждение плана, анализ достижения цели и принятие решения об ее актуализации или пересмотре цели несет руководитель организации.

Таким образом, повышение эффективности систем качества представляет собой комплексную проблему, требующую внимания к детализированной технологии отношения к большому количеству вопросов.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. ГОСТ Р ИСО 9001-2001. Системы менеджмента качества. Требования / Всерос. н.-и. ин-т сертификации ; введ. в действие 31.08.2001. URL : http://ru.wikipedia.org/wiki/ГОСТ_Р_ИСО_9001-2001. (Дата обращения 06.05.2009).
2. Лонцих П. А. Обеспечение качества, анализ динамических параметров и диагностика технического состояния оборудования технологических систем // Вестн. ИрГТУ. 2003. № 3–4. С. 30–35.
3. Лонцих П. А., Вейц В. Л., Шулешко А. Н. Качество: инструменты управления, прогнозирование и диагностика. Иркутск, 2007. 244 с.
4. Управление качеством : учеб. / под. ред. В. Н. Азарова.. – 3-е изд., стереотип. – М. : Высш. шк., 2002. Т. 2 : Принципы и методы всеобщего руководства качеством. 358 с.

Раздел 1
Механика. Транспорт. Машиностроение. Технологии.

УДК 531.4

Хоменко А. П., Елисеев С. В. Устойчивость колебаний в двумерных системах с нетрадиционными связями // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С.8-12. 6 рис. Библиогр.: С. 12 (14 назв.).

Рассматриваются колебания системы, содержащей рычаги первого и второго родов и имеющей в своей структуре механические цепи с массо-упругими элементами при кинематическом возмущении. Показано, что рычажные связи вносят в систему отрицательные и положительные обратные связи, что связано с необходимостью оценки условий устойчивости движения.

Ключевые слова: динамика рычажных механизмов, обратные связи, устойчивость.

УДК 517.98

Мижидон А. Д., Баргуев С. В., Лебедева Н. В. К исследованию виброзащитной системы с упругим основанием // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С. 13-20. 2 рис. Библиогр.: С. 20 (20 назв.).

Рассматривается виброзащитная система, состоящая из основания в виде упругого стержня, закрепленного на концах и прикрепленных на нем с помощью пружин двух масс. Предложена математическая модель, на основании которой проведено обоснование нахождения собственных частот системы.

Ключевые слова: виброзащита, упругое основание.

УДК 625.84:85;068.08

Ефремов И. М., Фигура К. Н. Использование метода физического моделирования при расчете роторно-вибрационного смесителя // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2008. №2(22). С. 21-25. 1 рис. Библиогр.: С. 25 (11 назв.).

Предлагается способ смешивания строительных смесей с использованием вибрационного поля, которое создается специальным роторно-вибрационным смесителем. Рассматривается конструктивное решение. Приведены формулы для определения мощности привода вибратора и оценки вязкости смеси.

Ключевые слова: вибрационный смеситель, вязкость смеси, вибрационная технология.

УДК 621.8

Кузнецов А. М., Якимов С. А., Янюшкин А. С., Лобанов Д. В. Расчет напряжений, возникающих при затачивании твёрдосплавного инструмента с малым углом заострения // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С.25-30. 9 рис., 1 табл. Библиогр.: С. 30 (7 назв.).

Изложена методика определения напряжений, возникающих на режущей кромке твердосплавного инструмента при его затачивании. Получено уравнение для нахождения величины сколов и определены, размеры дефектов на вершине режущего элемента, возникающие при использовании различных методов подготовки инструмента к работе.

Ключевые слова: стойкость режущего инструмента, обработка стеклопластика.

УДК 621.9

Обрывалин А. В. Обрабатываемость резанием материала вагонных колес повышенной твердости при наличии эксплуатационных дефектов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С.30-35. 1 рис. Библиогр.: С. 35 (9 назв.).

В статье дан краткий анализ и определены основные недостатки существующей технологии восстановления профиля вагонного колеса повышенной твердости с термомеханическими повреждениями. Разработан и предложен способ подготовки вагонных колес к обработке на колесотокарном станке. Приведены результаты производственного эксперимента, подтверждающие целесообразность нововведения.

Ключевые слова: вагонное колесо, термомеханические повреждения, технология, механическая обработка.

УДК 620.17

Лапшин В. Л., Ященко В. П., Перелыгина А. Ю., Демаков Е. И. Влияние упруго-пластических параметров блока механореологической модели на силу ударного взаимодействия сферического тела с плоской поверхностью // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С.36-41. 7 рис. Библиогр.: С. 41 (2 назв.).

Рассматривается механореологическая модель процесса ударного взаимодействия сферического тела с плоской поверхностью. Модель учитывает упругие, вязкие и пластические свойства материала. Приводится математическое описание модели, анализируется влияние параметров упруго-пластического блока модели на силу ударного взаимодействия сферического тела с плоской поверхностью.

Ключевые слова: удар, сферическое тело, сила ударного взаимодействия, контактное взаимодействие тел.

УДК 621.865.8

Лузгин В. В. Идентификация динамики выдвижного звена манипулятора робототехнического комплекса // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С. 41-43. 3 рис. Библиогр.: С. 43 (2 назв.).

Рассматриваются задачи идентификации динамики выдвижного звена манипулятора робототехнического комплекса по экспериментальным зависимостям его подвижной части в режимах рабочего цикла и торможения. Приводятся результаты численного решения нелинейных интегро-дифференциальных уравнений рабочего цикла и торможения подвижной части звена, оценивается их степень идентичности экспериментальным зависимостям. Делается вывод о возможности использования полученных результатов исследований для диагностирования звена.

Ключевые слова: идентификация, выдвижное звено манипулятора, диагностика.

УДК 66.0

Пекарь К. А., Руш Е. А., Халиуллин А. К. Перспективы и проблемы одновременной переработки серосодержащих и хлорорганических отходов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С.44-47. 4 рис. Библиогр.: С. 47 (6 назв.).

Рассмотрен вариант совместной переработки хлорорганических отходов и отходов нефтехимии в полимерные материалы, обладающие сорбционными свойствами. Показаны наиболее перспективные направления использования полученных продуктов.

Ключевые слова: хлорорганические отходы, переработка, сорбенты.

УДК 621.225.2.001.24

Кобзов Д. Ю., Кобзов А. Ю., Лханаг Д. О потерях на трение в гидроцилиндрах машин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С.47-50. Библиогр.: С. 50 (13 назв.).

На основе анализа потерь на трение в гидроцилиндрах машин авторами был введен объективный критерий, способствующий оптимальному выбору вида исполнения существующих гидроцилиндров, определению их количества, установлению кинематических и гидравлических схем подключения, созданию перспективных гидроцилиндров с точки зрения значения их механического или гидромеханического КПД.

Ключевые слова: гидравлические механизмы, потери на трение.

УДК 621.311

Туйгунова А. Г. Совершенствование технического содержания изоляционной системы трансформаторов тяговых подстанций с учетом особенностей климата на основе непрерывного контроля // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С.51-54. 2 рис., 1 табл. Библиогр.: С. 54 (3 назв.).

Для совершенствование технологии контроля остаточного ресурса силовых трансформаторов тяговых подстанций (трансформаторного масла и бумажной изоляции обмоток, учет влияния климатических условий, определение работоспособности трансформаторов и продление их сроков службы) необходимы для надежной передачи и распределения электрической энергии в системе тягового электроснабжения. Предлагается изменить систему обслуживания оборудования тяговых подстанций за счет широкого применения средств мониторинга и диагностики состояния трансформаторов по всей сети железных дорог.

Ключевые слова: Тяговая подстанция, трансформатор.

УДК 625.71.8

Мартьянов В. И., Пахомов Д. В., Архипов В. В. Организация рационального управления содержанием региональной сети автомобильных дорог // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С. 55-62. 1 табл. Библиогр.: С. 62 (4 назв.).

Рассматриваются задачи управления организацией содержания сети автомобильных дорог и нахождения областей обслуживания ресурсных баз сети дорог. Построены математические модели для планирования работ и формирования сетевых графиков.

Ключевые слова: логико-эвристические методы календарного, ресурсного и стоимостного сетевого планирования.

УДК 621.33

He Renwang Вычисление короткого замыкания на электрической питающей сети с серийным компенсатором // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С.62-64. 1 рис. Библиогр.: С. 63 (5 назв.).

Предлагается метод расчета короткого замыкания тяговой сети с серийным компенсатором; при этом, учитывается влияние магнитного насыщения.

Ключевые слова: компенсатор, ток короткого замыкания, магнитное оглощение, тяговая электросеть.

УДК 669.7/.8

He Bolin, Yu Yingxia, Li Qiuping Приготовление пористой керамической системы Al2O3-TiB2 саморазмножением высокотемпературного метода синтеза // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С.64-67. 3 рис., 2 табл. Библиогр.: С. 66 (8 назв.).

Предлагается технология изготовления пористого керамического композита путем смешивания порошков (Al, TiO_2 и B_2O_3) с последующим высокотемпературным синтезом. Показано значение размера частицы алюминия, добавления SiC и высокого давления на продукт и размер пор. Действие всех факторов на свойства продукта были проверены экспериментально. Описаны микроструктура и механические свойства (плотность и сжимающая сила сопротивления). Изучено отношение между открытой пористостью и размером поры и обнаружена зависимость от размера частицы порошка никеля. Пористая металлокерамика с пористостью в пределах 45 % - 68 %, размер поры от 1 нм до 400 нм, и сжимающая сила приблизительно 9.5 МПа может быть использована в методе ВС. Наблюдения SEM поверхности перелома показывают, что способ перелома – позволяет фиксировать уязвимость и микроструктуры пористой керамики.

Ключевые слова: температурный синтез, пористая керамика, приготовление, функциональные материалы

УДК 669.2/.8

Wu Cai-bin, Xiang Su-lin, Dong Zhong-zhen, Bu Jing-jing Экспериментальные исследования драгоценных металлов из отходов печатных матриц // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С.67-72. 5 рис., 7 табл. Библиогр.: С. 72 (10 назв.).

Отходы печатных матриц содержат много различных драгоценных металлов, таких как медь, золото, серебро и т.д. Рассматривается способ разрушения матрицы и выделения металлов, при помощи молота, воздушного делителя, магнита и вихревого разделителя. Эффективность тонкости и степени разделения может быть увеличена, с ростом скорости молота и времени разрушения. В этом случае, при поступлении на воздушное разделение размеры частиц будут соответственно уменьшены, что в результате после вихревого разделения размер частиц будет соответствовать параметрам магнитного разделителя, скорости барабана и размеру канала. Как правило, параметры вихревого сепаратора должны соответствовать получению необходимого концентрата. Если характеристики молота будут улучшены, эффективность стадии освобождения будет возрастать

Ключевые слова: отходы печатной матрицы, драгоценные металлы, разрушение, воздушное деление, деление вихревым потоком, металлицеский концентрат

УДК 614.8

Тюпин В.Н. Результаты сейсмического действия наземного взрыва на объекты железных дорог // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С. 73-76. 2 рис., 2 табл. Библиогр.: С. 76 (6 назв.).

Приведены результаты теоретических расчетов параметров разрушающего сейсмического действия наземного ядерного взрыва на здания и сооружения и объекты железнодорожного транспорта. Проведены численные расчеты по определению величин сжимающих напряжений. Сравнение их с прочностными параметрами зданий и сооружений и данными практики указывает на правомерность полученных формул. Полученные формулы могут быть использованы для оценки параметров разрушения и паспортизации важных производственных объектов при сейсмическом действии взрывов.

Ключевые слова: воздействие взрыва на путь, сейсмические волны.

УДК 629.4.015

Новосельцев П.В., Купцов Ю.А. Исследование взаимодействия грузового железнодорожного состава и локомотива на основе натурных экспериментов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С. 77-81. 7 рис., 1 табл. Библиогр.: С. 81 (3 назв.).

Работа посвящена разработке и представлению способа исследования параметров движения грузового железнодорожного состава и силового взаимодействия его элементов. Натурный эксперимент заключается в измерении перемещений при помощи цифровых камер, закрепленных на неподвижных опорах и фиксирующих положение локомотива и вагонов через заданные промежутки времени. Обработка данных производится простым и доступным способом с помощью программы «Excel» и построением таблиц и графиков перемещения, изменения скорости, ускорения, продольной реакции состава на локомотив, а также разности между кинетической энергией и суммой работ внешних сил, которые можно использовать при инструктаже и обучении машинистов.

Ключевые слова: динамика поезда, продольные усилия состава.

УДК 629.027

Рябов И. М., Воробьев В. В., Упырь Р. Ю., Логунов А. С., Насников Д. Н. Экспериментальные исследования амортизирующих устройств транспортных средств // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С.81-84. 10 рис. Библиогр.: С. 84 (3 назв.).

Приведены данные об испытаниях опытного образца автоматического амортизатора с устройством для преобразования движения рычажного типа. Описана экспериментальная установка. Приводится сравнительный анализ действия различных факторов, в том числе, сил сухого трении.

Ключевые слова: амортизатор, демпфирующее устройство, виброзащита.

УДК 531.3

Ермошенко Ю. В., Фомина И. В. Динамическое гашение в виброзащитных системах с использованием Г-образных рычажных связей // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С.85-88. 6 рис., 1 табл. Библиогр.: С. 88 (3 назв.).

Рассматриваются возможности создания режимов динамического гашения в системе с одной степенью свободы при использовании закрепленного на объекте защиты подпружиненного Г-образного рычажного механизма. Приведены необходимые соотношения.

Ключевые слова: виброзащита, динамические рычажные гасители колебаний.

УДК 669.1

Шастин В. И., Сливинская Л. П. Комбинированный способ очистки металлических поверхностей // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С.89-94. 6 рис. Библиогр.: С. 94 (7 назв.).

Предложен на уровне изобретения способ очистки поверхностей изделий от труднорастворимых многослойных покрытий и загрязнений с использованием лазерных технологий. На его основе авторами предложены технологические рекомендации.

Ключевые слова: очистка поверхностей, лазер, обработка.

УДК 669.1.017

Xiong Guangyao, Zhou Zejie, He Bolin, Zhao Longzhi Действие редкоземельных металлов на QPQ поверхность стали // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С.94-97. 3 рис., 3 табл. Библиогр.: С. 97 (8 назв.).

Для увеличения производственной эффективности и количества слоев, редкоземельные металлы используются в процессе QPQ. Поверхность 5CrMnMo стали обрабатывается используя этот метод. Микроструктура и глубина обработки поверхности для стали анализируется, используя SEM. Износ при трении скольжения испытывается на образце М-2000 и микротвердость определяется микроскопным измерителем твердости 401 MVA. Результат показывает, что толщина и скорость азотирования будет увеличиваться и толщина азотного слоя и азотной структуры будет увеличиваться.

Ключевые слова: редкоземельный металл, QPQ соленая ванная, микроструктура, свойства

УДК 629.3.015

Лукьянов Д. А., Куцый Н. Н. Исследование, моделирование и оптимизация динамических характеристик мотор-вентиляторов электровозов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С.97-107. 9 рис., 3 табл. Библиогр.: С. 107 (8 назв.).

Разработана программа математического и визуального моделирования динамических характеристик мотор-вентиляторов электровозов, для моделирования влияния на них различных динамических и кинематических возмущений, возникающих в процессе их эксплуатации, и расчета при этих возмущениях оптимальных характеристик подвески МВ.

Ключевые слова: динамические характеристики, мотор-вентилятор, виброзащита, локомотив.

УДК 621.8.92

Ереско С. П., Докшанина И. И. Исследование контактных напряжений в подшипнике качения с учетом сил трения // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С.108-112. 4 рис. Библиогр.: С. 111 (8 назв.).

Приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований долговечности подшипников, работающих с пластическими смазками с добавкой ультродисперсного порошка алмазографита.

Ключевые слова: долговечность подшипников качения, диагностика.

Раздел 2
Управление в технических системах. Моделирование.

УДК 531.36

Новиков М.А. О приложении форм выше второго порядка в задачах устойчивости движения // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С.114-119. Библиогр.: С.118. (21 назв.).

Обсуждается применение форм выше второго порядка в задачах механики. Приведены демонстрационные примеры нелинейных систем обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка. Показано совпадение достаточных условий устойчивости тривиального решения, получаемых вторым методом Ляпунова с использованием критерия знакоопределенности форм четвертого порядка двух переменных, с необходимыми.

Ключевые слова: система обыкновенных дифференциальных уравнений, функция Ляпунова, знакоопределенность формы, устойчивость решения.

УДК 004.3

Антошкин С. Б., Мухопад Ю. Ф., Пунсык-Намжилов Д. Ц. Статистический метод анализа аналого-цифрового преобразователя информации // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С.119-123. 5 рис. Библиогр.: С. 122 (12 назв.).

Рассматривается статистический метод количественной оценки основных погрешностей АЦП, что позволяет увеличить точность преобразователей по сравнению с их техническими характеристиками. Формируется тестовый сигнал, как сумма опорного напряжения и сигнала с равновероятным распределением уровня в заданном диапазоне. Предложен способ формирования такого сигнала и структурная схема такого устройства для снятия реальных характеристик преобразования.

Ключевые слова: АЦП, статистический метод, функция преобразования, младший значащий разряд, уровень квантования, весовой коэффициент.

УДК 531.13

Упырь Р.Ю. Обоснование возможностей расширения элементной базы колебательных систем // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С.123-128. 9 рис. Библиогр.: С. 128 (7 назв.).

Рассматриваются вопросы расширения элементной базы механических колебательных систем. Показано, что при составлении дифференциальных управлений твердого тела в плоском движении на упругих опорах методом Даламбера можно обосновать существование в «естественном» виде элементарных звеньев двойного дифференцирования и рычажных связей. Приведены соответствующие структурные схемы.

Ключевые слова: виброзащита, виброизоляция, динамический синтез виброзащитных систем.

УДК 519.6

Chunhua Li О нечетких соответствиях многочисленных полугрупп // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С.128-132. Библиогр.: С. 131 (15 назв.).

Изучается класс нечетких соответствий на многочисленных полугруппах, так называемых «расплывчатого» соответствия. Вводим понятие «расплывчатое» отношение соответствия на многочисленных полугруппах; даются некоторые свойства и характеристики многочисленным соответствиям на таких полугруппах. Кроме того, некоторые свойства расплывчатых соответствий даются на удовлетворяющих условиях регулярности полугруппам. Доказаны некоторые характеристики расплывчатых соответствий на некоторых многочисленных полугруппах.

Ключевые слова: многочисленная полугруппа; расплывчатое соответствие; условие регулярности.

УДК 519.1

Baogen Xu О противоположности знака числа доминант графа // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С.132-136. Библиогр.: С. 136 (4 назв.).

Пусть G = (V, E) будет графом, а функция *f*: V {-1, 1} будет означать обратное значение доминантной функции (RSDF) G, если $\sum_{v \in N[u]} f(v) \le 0$ постоянно для каждой вершины $u \in V$, обратное значение доминанты G определяется как $\gamma_{rs}(G) = \max \{ \sum_{v \in V(G)} f(v)$ Если {RSDF of G}. Получены некоторые пределы $\gamma_{rs}(G)$ общего графа; определено точное значение $\gamma_{rs}(G)$ для некоторых особых групп графов; рассмотрены некоторые важные предположения и теории.

Ключевые слова: Обратная функция доминанты, обратное число доминанты, прямая функция доминанты, прямое число доминанты.

УДК 621.33

Гоппе Г. Г. Алгоритм энергосберегающего управления асинхронным двигателем (АД) при изменении нагрузки вниз от оптимальной // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С.137-142. 3 рис. Библиогр.: С. 142 (7 назв.).

Получена оценка энергетических потерь в АД при нагрузках ниже оптимальной. Предложен алгоритм управления питающим напряжением, позволяющий обеспечить высокие значения КПД в этом диапазоне поддержанием равенства "постоянных" и "переменных" потерь. Показана целесообразность использования энергосберегающего способа управления для случаев, когда преобразователь напряжения (частоты) необходим из-за технологических причин.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, алгоритм управления, коэффициент полезного действия, преобразователь напряжения, энергетические потери.

УДК 656.259.12

Шаманов В. И., Суров В. П. Измерения, контроль и диагностика параметров рельсовых цепей // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С.143-147. 2 рис. Библиогр.: С. 147 (12 назв.).

Предлагается разработка принципов построения универсального измерительного прибора электромеханики СЦБ; используются оригинальные материалы на уровне российских патентов.

Ключевые слова: визуальный контроль параметров, диагностика рельсовых цепей.

УДК 007.51

Wang Sen О перспективах и методах генетических алгоритмов в логических разработках // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С.148-153. 1 рис. Библиогр.: С. 153 (3 назв.).

Генетические Алгоритмы (ГА) моделирующие законы развития (механизм выживания сильнейшего) биологического мира, являются алгоритмом с случайной адаптивной процедурой поиска. Как новый алгоритм глобальной оптимизации, это - эффективное решение. Благодаря этой характеристике упрощения, ГА создает базу для вычисления сведений в 21-ом столетии что очень важно для создания экспертной системы и искусственной нейронной сети. Показаны возможные перспективы и методы ГА.

Ключевые слова: генетические алгоритмы, логические разработки

УДК 528:002.5:656.2

Иванов С. С. Регулятор устойчивости с точки зрения повышения эффективности системы // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С.153-157. 6 рис. Библиогр.: С. 157 (8 назв.).

Предложена методика оценки устойчивости систем позволяющие выбрать направления повышения эффективности выполнения проекта по заданному набору показателей.

Ключевые слова: управление проектом, устойчивость.

УДК 62.53

Ешенко А. А. Синтез двумерной системы автоматического управления процессов выработки листового стекла // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С.158-162. 3 рис. Библиогр.: С. 162 (3 назв.).

Рассматриваются вопросы синтеза связанной неоднородной системы управления процессом вертикального вытягивания стекла. Учитываются условия обеспечения автономности и инвариантности каналов регулирования с помощью компенсирующих связей.

Ключевые слова: инвариантность, автономность, двумерные системы автоматического управления.

Раздел 3
Системный анализ и междисциплинарные подходы в исследованиях.

УДК 510

Панченков А. Н. Принципы оптимальности современной науки: совместный анализ // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С.164-174. Библиогр.: С. 173 (46 назв.).

В важнейшей проблеме создания современного научного Миропонимания в текущий момент вышла на передние позиции проблема единства и согласования принципов оптимальности современной науки и аналитического Естествознания. Решение этой задачи содержится в настоящей статье. Речь идет об аксиоматизации и аксиоматическом описании сложных научных проблем, составляющих костяк индустрии знаний.

Ключевае слова: принцип оптимальности, теория оптимального управления.

УДК 519.6+004.273

Сидоров И. А., Опарин Г. А., Феоктистов А. Г. Технология организации распределенных вычислений в инструментальном комплексе DISCOMP // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С.175-179. 2 рис. Библиогр.: С. 179 (8 назв.).

Обсуждаются вопросы, связанные с организацией распределенных вычислений в инструментальном комплексе DISCOMP. В частности, описываются языковые средства для описания предметной области пакета прикладных программ и постановок исследовательских задач. Рассматривается подход к управлению процессом решения задачи в распределенной вычислительной среде.

Ключевые слова: пакеты прикладных программ, параллельные вычисления, управление процессом решения задачи.

УДК 519.6

Краковский Ю. М., Яхина А. С. Прогнозирование динамики развития регионального рынка образовательных услуг // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С.180-184. 2 рис., 4 табл. Библиогр.: С. 183 (6 назв.).

Приводятся результаты прогнозирования показателей регионального рынка образовательных услуг с применением различных моделей на основе однородной и разнородной информации по данным высшего профессионального образования Забайкальского края. В качестве показателей используются

данные по приему, выпуску и контингенту студентов. Дополнительно проведено статистическое исследование по проверке связанности показателей «Численность выпускников школ» и «Прием в Вузы (на очную форму обучения)».

Ключевые слова: прогнозирование, системный анализ, образовательная система.

УДК 005.6:531

Елисеев С. В. Взаимосвязь критериев качества и динамических параметров производственных систем // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С.185-189. Библиогр.: С. 189 (5 назв.).

Рассматривается концепция создания и развития систем менеджмента качества в существующем нормативно-правовом пространстве. Особенностью подхода является акцент на вопросах обеспечения технологического (и динамического) качества производственных процессов.

Ключевые слова: системы менеджмента качества, технологическое и динамическое качество.

УДК 004.73

Aihan Yin, Li Li, Aiyun Zhan, Xinliang Zhang Анализ формата модуляции в WDM-PON оптической системы связи // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С. 190-195. 8 рис., 1 табл. Библиогр.: С. 195 (14 назв.).

Рассматривается возможность передачи информации WPM-PON по оптической сети. Скорость передачи по одному каналу может достигать 40 Гбит на расстоянии до 200 км. Проанализирована возможность антисжатия и анти PMD.

Ключевые слова: оптическая связь, формат модуляции, рассеивание.

УДК 811.111:378

Zhou Liping Об улучшении памяти студентов, изучающий английский язык // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С. 196-198. Библиогр.: С. 198 (3 назв.).

В данной статье рассматриваются возможности улучшения памяти студентов, изучающих английский язык. Также рассматриваются шесть методов по изучению английских слов, текстов и т.д.

Ключевые слова: изучение английского, память

УДК 004.45

Fu Qin-cui, Liu Zi-ying, Fu Ke-jia Исследование протокола IEC60870-5-10 и проекта программного обеспечения коммуникации, основанного на конечных автоматических сетях // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С.198-202. 4 рис. Библиогр.: С. 202 (4 назв.).

Предлагается концепция стандарта IEC60870-5 общения между станциями телеуправления через интернет-услуги в системах телеуправления органов власти. Проведен анализ 104 протоколов.мулированы проблемы создания программного обеспечения в соответствии с протоколом Международной Электротехнической Комиссии 60870-5-104.

Ключевые слова: стандарт IEC60870-5, объектно-ориентированный.

УДК 519.87

Liu Jue-fu, Liu Gao-yuan, Li Bo, Shi Yu-zhen Исследование сетки вычислительной модели управления, основанных на мобильных агентах // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С.203-205. 2 рис. Библиогр.: С. 205 (5 назв.).

Рассматривается технология мобильного агента и характера сети вычисления модели управления. Описан мобильный агент на основе модели для решения проблемы управления ресурсами, списком задач и балансом груза в вычислительной сети.

Ключевые слова: мобильный агент, вычислительные сетки, управление ресурсами, список задач.

УДК 004.413

Jiang Xiangang, Xu Miaocun, Jiang Xiaojun Разработка программного обеспечения для геометрических преобразований в машинном зрении // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С.205-209. 8 рис., 3 табл. Библиогр.: С. 209 (2 назв.).

Рассматриваются цифровые методы обработки изображения. Показана возможность преобразоватния искаженного изображения в оригинальное. Процесс преобразования разделен на два шага: (1) геометрическое преобразование, использующее отношение координат между оригинальным изображением и искаженным изображением. Описано правило искажения при геометрических преобразованиях в системе координат. (2) калибровка шкалы яркости. Экспериментальный результат демонстрирует, что ошибка при установке не будет превосходить 0.1mm при условии, если целевое изображение точно. Для проектирования модулей системы программного обеспечения используется Delphi 7.

Ключевые слова: разработка ПО, процесс CNC, Delphi 7, гравитация

УДК 004.65

Mo Jia Хранение данных XML через тонкое гранулярное отношение // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С. 210-212. 7 рис. Библиогр.: С. 212 (7 назв.).

Показано, что хранение XML в реляционной базе данных может обеспечить не только ввод XML осуществляемый через Java, для контроля и управления данными XML. Кроме того, возможно улучшение хранения данных XML через более точную степень детализации данных.

Ключевые слова: хранение данных XML, точное отношение, Java

УДК 008.510

Fan Yong, Xiong Yue Исследование контромер относительного построения гармоничного общества Китая // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С. 212-216. Библиогр.: С. 216 (5 назв.).

Трудовые отношения, как фонд целого социального отношения, решают, что развитие гармоничного трудового отношения - основная работа в построении гармоничного общества. Поэтому, очень важно полностью понять текущую ситуацию трудового отношения в Китае, проанализировать с научной точки зрения и решить конфликты и проблемы среди трудовых отношений в Китае для того, чтобы строить гармоничное трудовое отношение так же как гармоничное общество.

Ключевые слова: трудовые отношения, гармоничное общество.

УДК 331.4:656.2

Tao Yuchun, Xu Zhenning Анализ охраны труда работников предприятий железнодорожного транспорта // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С.216-219. Библиогр.: С. 219 (5 назв.).

Показано, что правительство и общество обращают большое внимание на проблемы безопасности на железной дороге. Приведены факторы, которые приводят к опасности в работе персонала, что должны учитывать при инвестировании средств в оборудование, развитие системы охраны труда, и поощрения развития науки и техники безопасности.

Ключевые слова: безопасность, несчастный случай, управление

УДК 004.43

Zhao Xiaojing Ограничения и возможности языковой оценки на основе задач Limitations and Possibilities of Task-based Language Assessment // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С.219-226. Библиогр.: С. 226 (19 назв.).

В статье рассматриваются особенности языковой оценки на основе задачи (TBLA). Обсуждаются ограничения метода и его недостатки.

Ключевые слова: языковая оценка на основе задачи, ограничения, возможности

УДК 656.2

Mao Xiaodun, Xu Zhenning Рассмотрение управлением совместным предприятием Наньчанской железной дороги // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С.227-228.

Рассматриваются существующие проблемы управления и модели операций на совместном предприятии Наньчанской железной дороги. Предлагается новый способ управления железной дорогой.

Ключевые слова: Наньчанское железнодорожное бюро, управление и работа.

УДК 005.6

Лонцих П. А. Анализ и оценка эффективности систем качества. Разработка политики в области качества и целей // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №2(22). С.229-234. Библиогр.: С. 234 (4 назв.).

Рассматриваются вопросы стратегии и тактики в политике создания и развития систем менеджмента качества. Приводятся подробности формирования системы целей и их структуризации в зависимости от специфики видов деятельности предприятия.

Ключевые слова: Менеджмент качества, предприятие, структуризация.

Part 1
Mechanics. Transport. Mechanical engineering. Technologies.

UDC 531.4

Khomenko A.P., Eliseev S.V. Stability of fluctuations in bidimentional systems with nonconventional ties // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P. 8-12. Fig. – 6. Ref. – 14.

Fluctuations of the system containing levers of the first and second sorts and having in the structure mechanical circuits with mass-elastic elements at kinematic indignation are considered. There is shown, that lever ties bring negative and positive feedback that is connected with necessity of an estimation of conditions of stability of movement in system.

Keywords: dynamics of lever mechanisms, feedback, stability.

UDC 517.98

Mizhidon A. D., Barguev S.V., Lebedeva N.V. To research of vibroprotection systems with the elastic basis // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P. 8-12. Fig. – 2. Ref. – 20.

The vibroprotection system consisting of the basis in the form of an elastic core, fixed on the ends and attached on it by means of springs of two weights is considered. The mathematical model on the basis of which the substantiation of a finding of own frequencies of system is lead is offered.

Keywords: vibroprotection, the elastic basis.

UDC 625.84:85; 068.08

Efremov I.M, Figura K.N. Usage method of physical modelling at calculation of the rotor-vibrating amalgamator // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P. 21-25. Fig. – 1. Ref. – 11.

The way of mixing of building mixes with use of a vibrating field which is created by the special rotor-vibrating amalgamator is offered. The constructive decision is considered. Formulas for definition of capacity of a drive of the vibrator and an estimation of viscosity of a mix are resulted.

Keywords: the vibrating mixer, viscosity of a mix, vibrating technology.

UDC 621.8

Kuznetsov A.M., Jakimov S.A., Janjushkin A.S., Lobanov D.V. Calculation of the pressure arising at sharpening of hard-alloy tool with a small corner of a point // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P. 25-30. Fig. – 9. Tab. – 1. Ref. – 7.

The definition technique of pressure arising on a cutting edge hard-alloy tool is stated at its sharpening. The equation for a finding of size having chopped off is received and are certain, the sizes of defects at top of a cutting element arising at use of various methods of preparation of the tool to work.

Keywords: stability of the cutting tool, processing of fibreglass.

UDC 621.9

Obrivalin A.V. Machinability of material cutting of carload wheels of the raised hardness at presence of operational defects // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P. 30-35. Fig. – 1. Ref. – 9.

There is in the article the brief analysis is given and the basic lacks of existing technology of restoration of a structure of a carload wheel of the raised hardness with thermomechanical damages are certain. The way of preparation of carload wheels to processing on car wheel lathe, aimed on increase of technology efficiency of their repair is developed and offered. The results of industrial experiment confirming expediency of introduction in existing technology of a way of preparation of a carload wheel to processing on car wheel

lathe are resulted, allowing considerably to lower expenses for restoration of structures of wheels due to reduction of the charge cutting hard-alloy plates.

Keywords: a carload wheel, thermomechanical damages, technology, machining, car wheel lathe, the shock loading, a cutting plate, a way of restoration, the scheme of processing, a grinding circle, industrial experiment.

UDC 620.17

Lapshin V.L., Yashenko V.P., Perelygina A.U., Demakov E.I. The influence of the parameters of the elastic - plastic block of the mechanoreological model on force of contact interaction a spherical body with a flat surface // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P. 36-41. Fig. – 7. Ref. – 2.

Is considered mechanoreological model of a striking interaction process a spherical body with a flat surface. The model takes into account elastic, viscous and plastic properties of material. The mathematical description of model is resulted, the influence of parameters of the elastic - plastic block of the mechanoreological model on force of contact interaction a spherical body with a flat surface is analyzed.

Keywords: stroke, spherical body, force of contact interaction, contact interaction of the solids.

UDC 621.865.8

Luzgin V.V. Identification of dynamics pushed link of manipulator of robotics complex // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P. 41-43. Fig. – 3. Ref. – 2.

Considered problems of identification dynamics pushed link the manipulator of robotics complex on experimental dependencies of it's rolling part in modes of working cycle and braking. To led to results numerical decision nonlinean integral-differential equations of working cycle and braking rolling part link and valuing their degree identity experimental dependencies. Drawn to conclusions on possibility of using the tinning results of studies for shaping diagnosis link.

Keywords: identification, pushed link the manipulator, diagnostics, rolling part the manipulator, integral- differential equations, working cycle, mode braking.

UDC 66.0

Peckar' K.A., Rush E.A., Haliullin A.K. The prospect and problems of simultaneous processing of sulfur content and chlorineorganic waste // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P. 44-47. Fig. - 4. Ref. - 6.

The variant of chlorineorganic waste joint processing and waste of petrochemistry in the polymeric materials possessing with sorption properties is considered. The most perspective directions of use of the received products are shown.

Keywords: chlorineorganic waste, processing, sorbents.

UDC 621.225.2.001.24

Kobzov D.Yu., Kobzov A.Yu., Lkhanag D. About losses on friction in hydrocylinders of machine // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P. 47-50. Ref. – 13.

On the basis of the analysis of losses on friction in hydrocylinders of machines authors had been entered the objective criterion promoting an optimum choice of a execution kind of existing hydrocylinders, to definition of their quantity, an establishment of kinematic and hydraulic schemes of connection, creation of perspective hydrocylinders from the point of view of behaviour of their mechanical or hydromechanical efficiency coefficient.

Keywords: hydraulic mechanisms, losses on friction.

UDC 621.311

Tajgunova A.G. The perfection of a maintenance of isolation systems of traction substations transformers in view of features of a climate on the basis of the continuous control // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P. 51-54. Tab. – 1. Ref. – 3.

The Improvement to technologies of the checking the remaining resource power transformer tractive substation: transformer butter and paper insulating the windings, account of the influence of the climatic conditions, determination to capacity to work transformer and extension their lifetime required for reliable transmis-

sion and distribution to electric energy in system of tractive supply. Necessary to change the system of the servicing the equipment tractive substation to account of the broad using the facilities of the monitoring and diagnosticses of the condition transformer on the whole network of the railways.

Keywords: traction substation, transformer.

UDC 625.71.8

Marjianov V.I., Pakhomov D.V., Arkhipov V.V. Organization of rational management of maintenance of regional highways network // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P. 55-62. Tab. – 1. Ref. – 4.

There is in this work the task of management organization of maintenance of highways network and the task of searching of service areas of resource bases of roads. Mathematical models are built in this article is for planning of works and forming of network schedules.

Keywords: Planning for the complex of geographically distributed complex, logical and heuristic methods for the calendar, resources and monetary network planning.

UDC 621.33

He Renwang Calculation of fault current on electric traction network with series compensators // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P. 62-64. Fig. – 1. Ref. – 5.

The paper presents a method to calculate the fault current on a power traction system with series compensators. The influence of magnetic saturation is considered.

Keywords: series compensator, fault current, magnetic saturation, power traction system

UDC 669.7/.8

He Bolin, Yu Yingxia, Li Qiuping Preparation of the Porous Ceramics of Al2O3-TiB2 System by Self-propagating High-temperature Synthesis Method // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P. 64-67. Fig. – 3. Tab. – 2. Ref. – 8.

Porous ceramics composites were prepared with mixed powders (Al, TiO_2 and B_2O_3) by SHS (Self-propagating High-temperature Synthesis) method. The effects of the particle size of aluminum power, the additives of SiC and the compacting pressure on the product properties and the pore size, as well as the combustion process in the Al_2O_3-TiB_2 System. The effects of all factors on properties of the product were tested In this paper. The microstructure and mechanical properties (density and compressive resistance strength) were reported. It is learnt from the study that the relation between the open porosity and the pore size does not exist, the former depends on the green density, and the latter depends on the particle size of the nickel powder. The porous cermets with porosity ranging from 45% to 68%, pore size from 1um to 400um, and the compressive strength about 9.5 MPa can be prepared by using SHS method. SEM observations of fracture surface suggest the fracture mode is brittleness fracture, and the microstructures of the porous ceramics are very homogenous.

Keywords: combustion synthesis, porous ceramics, preparation, functional materials

UDC 669.2/.8

Wu Cai-bin, Xiang Su-lin, Dong Zhong-zhen, Bu Jing-jing The Experimental Research of Valuable Metals' Recovery from Waste Printed Circuit Boards // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P. 67-72. Fig. – 5. Tab. – 7. Ref. – 10.

The waste printed circuit boards(PCBs) contain many kinds of valuable metals such as copper, gold and silver etc. In this paper, the experiments of crushing and separation are carried out using hammer crusher, airflow-classifier, magnetic separator and eddy current separator. The results show that the efficiency of fineness and liberation degree employing hammer crusher can be improved with the increase of hammer speed and crushing time; that the separation effects on airflow-classifier can be correspondingly weaken with the feeds' size becoming smaller and smaller; that the concentrate yield and its grade obtained from eddy current separation can be closely related to these parameters of separator magnetic density, drum speed and feeder size. As a rule, eddy current separator parameters should be simultaneously adjusted in order to achieve the excellent metal concentrate. If the hammer crusher's breaking way can be improved, the efficiency of liberation degree is perhaps looked forward to better.

Keywords: the waste printed circuit boards(PCBs), valuable metals, crushing, air classification, eddy current separation, metal concentrate

UDC 614.8

Tjupin V.N. The result of seismic action of ground nuclear explosion on objects of railways // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P. 73-76. Fig. – 2. Tab. – 2. Ref. – 6.

Results of parametrs theoretical calculations of destroying seismic action of ground nuclear explosion on buildings and constructions and objects of a railway transportation are resulted. Numerical calculations by definition of sizes of compressing pressure are lead. Their comparison with strength parameters of buildings and constructions and data of practice specifies legitimacy of the received formulas. The received formulas can be used for an estimation of parameters of destruction and certification of the important industrial objects at seismic action of explosions.

Keywords: influence of explosion on a way, seismic waves.

UDC629.4.015

Novosseltsev P.V., Kuptsov J.A. The study of interaction of a freight train and a locomotive on the basis of full-scale experiments // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P. 77-81. Fig. – 7. Tab. – 1. Ref. – 3.

The study is devoted to the development and presentation of a testing technique of movement parameters of a freight train and power interaction of its elements. The full-scale experiment consists in measuring of displacements by means of digital cameras attached to a motionless support and fixing the position of the locomotive and cars in set time intervals. Data processing is carried out in a simple way by means of the program "Excel" and construction of tables and diagrams of displacement, change of speed, acceleration, longitudinal reaction of a train to a locomotive, and also differences between kinetic energy and the work sum of applied forces which can be used when instructing locomotive drivers.

Keywords: dynamics of a train, longitudinal efforts of structure.

UDC 629.027

Ryabov I.M., Vorobjev V.V., Upyr' R.Yu., Logunov A.S., Nasnikov D.N. Experimental researches of amortize devices of vehicles // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P. 81-84. Fig. – 10. Ref. – 3.

There is data about tests of a pre-production model of the automatic shock-absorber with the device for transformation of movement of lever type. Experimental installation is described. The comparative analysis of action of various factors, including, forces dry friction is resulted.

Keywords: the shock-absorber, damper device, vibroprotection.

UDC 531.3

Ermoshenko Yu.V., Fomina I.V. Dynamic clearing in vibroprotection systems with use of G-shaped lever ties // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P. 85-88. Fig. – 6. Tab. – 1. Ref. – 3.

There are opportunities of creation of dynamic clearing modes in system with one degree of freedom are considered at use fixed on object of protection underspring the G-shaped lever mechanism. Necessary parities are resulted.

Keywords: vibrorpotection, dynamic lever shock absorber.

UDC 669.1

Shastin V.I., Slivinskaya L.P. Combinative method of clearing // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P.89-94. Fig. – 6, Ref. – 7.

Autors offered (level of invention) method clearing of surface of manufactured articles, which was cover few layer of soils. Recommendations about using of laser technologic are applied.

Keywords: clearing of surfaces, the laser, processing.

UDC 669.1.017

Xiong Guangyao, Zhou Zejie, He Bolin, Zhao Longzhi Effect of rare earth on the QPQ treatment on the dies steel // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P. 94-97. Fig. – 3. Tab. – 3. Ref. – 8.

In order to improve the production efficiency and the quality of the layer, the RE was used in the QPQ process. The surface of 5CrMnMo steel was treated using this method. The microstructure and depth of the treated surface for the steel were analyzed using SEM. The sliding wear resistance was tested on the M-2000 tester and the micro-hardness was tested using 401MVA microscopy hardness tester. The results showed that the thickness and the speed of nitriding was highly improved and the performance of nitriding layer and the nitriding structure was improved.

Keywords: Rare earth, QPQ Salt bath, Microstructure, Properties

UDC 629.3.015

Lukyanov D.A., Kucyi N.N. Research, simulation and optimization of dynamic characteristics of motor - blowers of electric locomotives // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P. 97-107. Fig. – 9. Tab. – 3. Ref. – 8.

It is developed programs of mathematical and visual simulating of dynamic characteristics of motor - blowers of electric locomotives, for simulating influence on them of the various dynamic and kinematic excitations arising during their operation, and calculation at these excitations of optimum characteristics of motor-blower suspension.

Keywords: Automated system, dynamic characteristics, the motor - blower, an electric locomotive.

UDC 621.8.92

Eresko S.P., Dokshanina I.I. Research of contact pressure in the antifriction bearing in view of forces of friction // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P. 108-112. Fig. – 4. Ref. – 8.

There are results theoretical and experimental researches of durability of the bearings working with plastic greasings with the additive soot of diamond-graphite are resulted.

Keywords: durability of antifriction bearings, diagnostics.

Part 2
Control in technical systems. Modelling

UDK 531.36

Novickov M.A. On Application of the Forms Higher Than the Second Power to Problems of Stability of Motion // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P. 114-119. Ref. - 21.

The paper discusses application of the forms higher than the second power in problems of mechanics. Some demonstration examples of nonlinear systems of second-order ordinary differential equations are given. Coincidence of sufficient conditions of stability for the trivial solution, which are obtained by Lyapunov's second method with the use of the criterion of sign-definiteness of the 4th-order forms for two variables, with the necessary ones is demonstrated.

Keywords: system of ordinary differential equations, Lyapunov function, sign-definiteness of the form, stability of solution.

UDC 004.3

Antoshkin S.B., Mukhopad Yu.F., Punsyk-Namzhilov D.Ts. A statistical method of the analysis of the information analog-digital converter // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P. 119-123. Fig. – 5. Ref. – 12.

In the article view statistic method of quantitative valuation principle errors ADC, what allow increase accuracy of convertors in compare with them technical feature. Creating testing signal as amount reference vol-

tage and signal with equal probable distribution of rate in the assign range. Present method creating that signal and design this device for measurement real feature conversion.

Keywords: ADC, a statistical method, function of transformation, low-order digit, quantization level, weight factor.

UDC 531.13

Upyr' R.Yu. The substantiation of expansion opportunities of element base of oscillatory systems // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P.123-128. Fig. – 9. Ref. – 7.

There are questions of element base expansion of mechanical oscillatory systems are considered. There is shown, that at drawing up of differential managements of a firm body in flat movement on elastic support method Dalambre it is possible to prove existence in a "natural" kind of elementary parts of double differentiation and lever ties. Corresponding block diagrams are resulted.

Keywords: vibroprotection, vibroinsulation, dynamic synthesis of vibroprotection systems.

UDC 519.6

Chunhua Li On Fuzzy congruences of abundant semigroups // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P. 128-132. Ref. – 15.

The aim of this paper is to study a class of fuzzy congruences on abundant semigroups, so-called fuzzy-* congruences. We first introduce the notion of a fuzzy- * congruence relation on abundant semigroups, and give some properties and characterizations of fuzzy- * congruences on such semigroups. Furthermore, some properties of fuzzy-* congruences on the satisfying regularity condition semigroups are given. Finally, some characterizations of fuzzy-* congruences on some abundant semigroups are proved.

*Keywords: abundant semigroup; fuzzy-*congruence; regularity condition.*

UDC 519.1

Baogen Xu On reverse signed domination numbers of graphs // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P. 132-136. Ref. – 4.

Let G = (V, E) be a graph, a function f : V→{-1, 1} is said to be a reverse signed dominating function (RSDF) of G if $\sum_{v\in N[u]} f(v) \le 0$ holds for every vertex $u \in V$, the reverse signed domination number of G is defined as $\gamma_{rs}(G)$= max{ $\sum_{v\in V(G)} f(v)$ | f is a RSDF of G}. In this paper we obtain some bounds of $\gamma_{rs}(G)$ for general graphs, and determine the exact values of $\gamma_{rs}(G)$ for some special classes of graphs G. In addition, we pose some open problems and conjectures.

Keywords: Reverse signed dominating function, reverse signed domination number, signed dominating function, signed domination number.

UDK 621.34

Goppe G.G. Suggesting AC motors control algorithm intake voltage when loads less than optimum // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P. 137-142. Fig. – 3. Ref. – 7.

An indication of power losses in AC motors was obtained when loads less than optimum. Suggesting control algorithm for intake voltage, from which obtained high magnitudes of KPD in this range which gave an equivalent magnitude of constant & variable losses. Showing that the useful of the energy saving methods for cases, when voltage variac (frequency) was necessary for technology reasons.

Keywords: Alternative current motor, control algorithm, voltage variac, energy losses, Useful activity coefficient (KPD).

UDC 656.259.12

Shamanov V.I. Surov V.P. The measurement, the control and diagnostics of parameters of rail circuits // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P. 143-147. Fig. – 2. Ref. – 12.

There is development of construction principles of the universal measuring device of electromechanics SCS is offered; original materials at a level of the Russian patents are used.

Keywords: the visual control of parameters, diagnostics of rail circuits.

UDC 007.51

Wang Sen About application prospect and methods of genetic algorithms in intelligence design // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P. 148-153. Fig. – 1. Ref. – 3.

Genetic Algorithms (GA), which simulates the evolution laws (mechanism of being Survival of the fittest) of biological world, is an algorithm with randomized adaptive search procedure. As a new algorithm of global optimization, it is an effective solution. Due to its characteristics of simplicity, strong robus and widespread adaptation, GA lays the foundation of intelligence computation in 21st century and becomes another attentive discipline which ranks after expert system and artificial neural network. This thesis briefly introduces application prospect and methods of GA in intelligence design in terms of concept and characteristics of GA

Keywords: genetic algorithms, intelligence design.

UDC 528:002.5:656.2

Ivanov S.S. Stability regulator from the point of increase of the system efficiency // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P. 153-157. Fig. – 6. Ref. – 8.

The method of the analysis for the technical system with the use of the sub-definite calculations is considered (N-models). The concept of the evaluating for the efficiency of the project on the basis of the defending system for the rolling stock is presented. Some results of the calculations are described.

Keywords: efficiency, system, sub-definite data, sub-definite calculations, N-models, protection of the rolling stock.

UDC 62.53

Eshenko A.A. Synthesis of bidimentional system of automatic control of development processes of sheet glass // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P.158-162. Fig. – 3. Ref. – 3.

There are questions of synthesis of the connected non-uniform control system by process vertical stripping glasses are considered. Conditions of maintenance of autonomy and invariancy of channels of regulation by means of compensating ts are considered.e

Keywords: invariancy, autonomy, bidimentional systems of automatic control.

Part 3
System analysis and intersubject approaches in researches

UDC 510

Panchenkov A.N. Principles of an optimality of a modern science: the joint analysis // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P.164-174. Ref. – 46.

In the major problem of creation of modern scientific Outlook in a present situation there was on forward positions a problem of unity and the coordination of principles of an optimality of a modern science and analytical Natural sciences. The decision of this problem contains in present article. There is a question of axiomatization and the axiomatic description of the complex scientific problems making skeleton of the industry of knowledge.

Keywords: a principle of an optimality, the theory of optimum control.

UDC 519.6+004.273

Sidorov I.A., Oparin G.A., Feoktistov A.G. Technology of the distributed calculations organization in tool complex DISCOMP // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P.175-179. Fig. – 2. Ref. – 8.

The questions connected with the organization of distributed calculations in tool complex DISCOMP are discussed. In particular, language means for the description of a subject domain of a package of applied pro-

grams and statements of research problems are described. The approach to management of process of the decision of a problem in the distributed computing environment is considered.

Keywords: packages of the applied programs, parallel calculations, management of process of the decision of a problem.

UDC 519.6

Krakovskij Yu.M., Yachina A.S. Forecasting of dynamics of development of the regional market of educational services // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P.180-184. Fig. – 2. Tab. – 4. Ref. – 6.

Results of forecasting of parameters of the regional market of educational services with application of various models on the basis of the homogeneous and diverse information according to the maximum vocational training Zabajkal'skij kraj are resulted. As parameters data on reception, release and a contingent of students are used. It is carried in addition out statistical research on check of coherence of parameters «Number of graduates of schools» and «Entering in High schools (on the internal form of training) ».

Keywords: forecasting, the system analysis, educational system.

UDC 005.6:531

Eliseev S.V. Interrelation of quality criteria and dynamic parameters of industrial systems // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P. 185-189. Ref. – 5.

The concept of creation and development of systems of a quality management in existing normative-legal space is considered. Feature of the approach is the accent on questions of maintenance technological (and dynamic) qualities of productions.

Keywords: systems of a quality management, technological and dynamic quality.

UDC 004.73

Aihan Yin, Li Li, Aiyun Zhan, Xinliang Zhang Analysis of Modulation Format in WDM-PON Optical Communication System // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P. 190-195. Fig. – 8. Tab. – 1. Ref. – 14.

In the wavelength division multiplexing passive optical network (WDM-PON) system, the modulation format was important. While three different modulation formats including nonreturn-to-zero (NRZ), return-to-zero (RZ), carrier-suppressed return-to-zero (CS-RZ) and the differential phase keying (DPSK) modulation format of each code are introduced in the article. A method of their modulated signal generation with computer is described, and a comparison of their spectra and waveforms is made. The 40 Gbps signal transmitted in 200 km G.652 fiber by way of single channel with erbium-dope-fiber-amplifier (EDFA) is simulated for these three formats. The ability of anti-dispersion and anti-PMD are analyzed. It is shown that RZ, CS-RZ format is more tolerant than NRZ in the same conditions.

Keywords: Optical communication; Modulation format; NRZ; RZ; CS-RZ; Dispersion.

UDC 811.111:378

Zhou Liping On Improving students' memory in English learning // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P. 196-198. Ref. – 3.

This paper has explained and stated the importance of improving students' memory in English learning. Also it describes and discusses the implementation of six teaching methods for cultivating students' ability of memorizing words, texts, etc.

Keywords: Studying of English, memory.

UDC 004.45

Fu Qin-cui, Liu Zi-ying, Fu Ke-jia Research of IEC60870-5-104 protocol and design of communication software based on finite state machines // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P. 198-202. Fig. 4. Ref. – 4.

In China, there is now a growing desire to use the IEC60870-5 Standards to communicate between telecontrol stations via Internet services in power telecontrol systems. A companion standard called IEC 60870-5-104 has been published by the IEC for this purpose. At present, people make a deep study of the application of the 104 protocol and have obtained a certain success. But on the software design, there is not a relatively univer-

sal design pattern. This paper puts forward a kind of design method used for the realization of the IEC 60870-5-104 protocol based on Finite State Machines (FSM). In this method, the IEC 60870-5-104 protocol is modeled via the FSM theory. In addition to that an object-oriented FSM implementation framework is produced. And a tool is presented that automates the configuration of the framework. The tool effectively enables developers to create FSMs from a specification.

Keywords: Finite State Machines; IEC 60870-5-104; object-oriented.

UDC 519.87

Liu Jue-fu, Liu Gao-yuan, Li Bo, Shi Yu-zhen Title of the article: Research on grid computing management model based on mobile Agent // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P. 203-205. Fig. – 2. Ref. – 5.

A brief introduction of the technology of mobile agent and the character of the grid compute management model. And describe the model-based mobile agent to solve the problem of management of resource, task schedule and load balance in the grid computing

Keywords: mobile agent; grid computing; resourse management; task schedule.

UDC 004.413

Jiang Xiangang, Xu Miaocun, Jiang Xiaojun Software Designing of Geometry Distortion Adjustment In Machine Vision // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P. 205-209. Fig. – 8. Tab. – 3. Ref. – 2.

The digital image processing methods can transform distorted image into the original image. The transformation process is divided into two steps: (1) geometric transformation. Transformation by using the coordinates relationship between the original image and the distorted image, which means the rule of the distortion makes geometric transformations on the coordinates space where image distortions lie. (2) gray-scale calibration. The experimental result demonstrates that the alignment error will not surpass 0.1mm on condition that the target image is accurate. The designing of software system modules uses Delphi 7.

Keywords: software designing, CNC process, Delphi 7, gravity.

UDC 004.65

Mo Jia Storage of XML Data through Fine Granularity Relation // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P. 210-212. Fig. – 7. Ref. – 7.

The storage of XML in relation database is first presented before the introduction of the principle concerning fine granularity. Firstly, An XML relational storage system is implemented through Java to manage and run XML data. Secondly, the specific implementation of XML data storage through fine granularity is illustrated. Finally, the project finds that compared with moderate and coarse granularity, fine granularity provides XML data great flexibility and convenience.

Keywords: XML data storage; fine granularity; tree-structure; relational models; relational database; Java.

UDC 008.510

Fan Yong, Xiong Yue The Countermeasures Research on Constructing Harmonious Society of China // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P. 212-216. Ref. – 5.

Labor relations, as the foundation of the whole social relation, determine that developing harmonious labor relation is a basic work in building harmonious society. Therefore, it is very important to fully understand the current situation of the labor relation in China, analyze scientifically and solve the conflicts and problems among labor relations in China for constructing harmonious labor relation as well as a harmonious society.

Keywords: labor, relation, harmonious society.

UDC 331.4:656.2

Tao Yuchun, Xu Zhenning Analysis on employees' career safety Of Railway Transport Enterprises// The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P. 216-219. Ref. – 5.

The government and society pay great attention to railway security issues. There are many factors which result in Staff job insecurity, so we should proceed from hardware investment, system development, security

awareness, and security science and technology promotion and so on, to improve the safety level of production and reduce the accident occurrence.

Keywords: Security, Accident, Management.

UDC 004.43

Zhao Xiaojing Limitations and possibilities of task-based language assessment // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P. 219-226.

This paper explores the characteristics of task-based language assessment (TBLA) and detects its limitations as well as its possibilities. Related issues, such as construct of TBLA, task difficulty, reliability, validity and wash-back effect are examined.

Keywords: task-based language assessment (TBLA), limitations, possibilities.

UDC 656.2

Mao Xiaodun, Xu Zhenning Discussion on Management of Nanchang Joint venture railways // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P. 227-228.

This paper views the existing problem of management and operation model in the Nanchang Railroad Bureau joint venture railway, and brings up new mode of joint venture railway administration to entrust management and operation model, which provides ideas and experience for the choice and reform of the Nanchang Railway Bureau as well as national joint venture railroad administration.

Keywords: Nanchang Railway Bureau (NCRB), Joint Venture Railway (JVR), Management and Operation, new mode.

UDC 005.6

Lontsikh P.A. The analysis and estimation of system efficiency of quality. Development of policy in the field of quality and the purposes // The modern technologies. The system analysis. The modelling. 2009. #2(22). P. 229-234. Ref. – 4.

There are questions of strategy and tactics in the politician of creation and development of systems of a quality management are considered. Details of formation of system of the purposes and their structurizations depending on specificity of kinds of activity of the enterprise are resulted.

Keywords: the quality management, the enterprise, structurization.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Антошкин Станислав Борисович, к.т.н., доцент каф. «Управление техническими системами» Иркутского государственного университета путей сообщения, e-mail: antoshkin_sb@irgups.ru

Архипов Владислав Викторович, программист Иркутского диагностического центра, тел. 99-45-46

Баргуев Сергей Ганжурович, к.ф-м.н., доц. кафедры «Прикладная математика» Восточно-Сибирского государственного технологического университета, тел.: (83012) 43-14-15, primat@esstu.ru ; miarsdu@esstu.ru

Воробьев Вениамин Вениаминович, к.т.н., менеджер фирмы «Арконт», тел.: 89047730303 (сот.)

Гоппе Гарри Генрихович, к.т.н., профессор кафедры электропривода и электрического транспорта ИрГТУ, тел.: (8-3952) 38-90-95, (8-3952) 40-51-28; e-mail: elprivod@istu.edu

Демаков Евгений Иванович, старший преподаватель кафедры сопротивления материалов и строительной механики Иркутского государственного технического университета, тел.: (3952) - 405144, e-mail: lapshin@istu.irk.ru

Докшанина Инна Игоревна, аспирант Сибирского федерального университета, e-mail: eresko07@mail.ru

Елисеев Сергей Викторович, д.т.н., профессор, директор НИИ современных технологий, системного анализа и моделирования Иркутского государственного университета путей сообщения, тел.:(3952)-598428, e-mail: eliseev_sv@irgups.ru ; eliseev_s@inbox.ru

Ереско Сергей Павлович, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Проектирование и эксплуатация строительно-дорожных и транспортно-технологических машин» Сибирского федерального университета, e-mail: eresko07@mail.ru

Ермошенко Юлия Владимировна, к.т.н., декан заочного факультета Иркутского государственного университета путей сообщения, тел.: (3952) – 638392, e-mail: ermosh_emf@irgups.ru

Ефремов Игорь Михайлович, к.т.н., доцент, зав. кафедрой «Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование» Братского государственного университета, тел: (3953) – 325365, e-mail: sdm@brstu.ru

Ешенко Анатолий Андреевич, к.т.н., профессор кафедры электропривода и электрического транспорта Иркутского государственного технического университета, тел.: (3952) – 405128 (раб.), (3952) – 427196 (дом.), e-mail: eshenko@inbox.ru

Иванов Сергей Сергеевич, аспирант Иркутского государственного университета путей сообщения, e-mail: kich@sm-komandor.ru

Кобзов Александр Юрьевич, доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры «Экономики и менеджмента» Братского государственного университета, тел.: (3953) – 338037

Кобзов Дмитрий Юрьевич, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Подъёмно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» Братского государственного университета, тел.: (3953) - 325493 (раб.), (3953) – 377992 (дом.).

Краковский Юрий Мечеславович, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Информационная безопасность» ИрГУПС, e-mail: krakovskiy_yum@irgups.ru

Кузнецов Алексей Михайлович, аспирант кафедры «Технология машиностроения» Братского государственного университета тел.: (3953)-325359

Купцов Юрий Алексеевич, соискатель ИрГУПС, тел. (3952) - 465900

Куцый Николай Николаевич, д.т.н., профессор кафедры автоматизированных систем Иркутского государственного технического университета, тел.(3952) – 383585.

Лапшин Владимир Леонардович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой сопротивления материалов и строительной механики Иркутского государственного технического университета, тел.:(3952) - 405425, e-mail: lapshin@istu.irk.ru

Лебедева Наталия Вячеславовна, аспирант кафедры «Прикладная математика» Восточно-Сибирского государственного технологического университета, тел.: (83012) 43-14-15, primat@esstu.ru ; miarsdu@esstu.ru

Лобанов Дмитрий Владимирович, к.т.н., доцент Братского государственного университета, тел.: (3953) 325397

Логунов Александр Сергеевич, аспирант Иркутского государственного университета путей сообщения, тел.: 8-9027638392, e-mail: logunov_as@irgups.ru

Лонцих Павел Абрамович, д.т.н., профессор зав. кафедрой «Управление качеством и механики» Иркутского государственного технического университета, тел.: (3952) - 405179

Лузгин Владимир Васильевич, к.т.н., доцент, профессор кафедры УТС Братского государственного университета

Лукьянов Дмитрий Анатольевич, аспирант Иркутского государственного технического университета, тел.: 8-9641110361 (сот.), e-mail: loukian@live.ru.

Лханаг Дорсунлингсурэн., Doctor (Ph.D), Professor, Mechanical Engineering Institute, Mongolian University Science and Technology; Монголия, г. Улаанбаатар, тел.: 976-11-325109.

Мартьянов Владимир Иванович, д.ф.-м.н., профессор Иркутского государственного технического университета, тел.: 991512, email: ad@istu.edu

Мижидон Арсалан Дугарович, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Прикладная математика» Восточно-Сибирского государственного технологического университета, тел.: (83012) 43-14-15, primat@esstu.ru ; miarsdu@esstu.ru

Мухопад Юрий Федорович, д.т.н., профессор, зав. каф. «Управление техническими системами» Иркутского государственного университета путей сообщения, тел.: 8-(3952) 63-83-64, 8-(3952) 59-86-64, 8-950-050-02-91; e-mail: bezproz@irgups.ru

Насников Дмитрий Николаевич, аспирант Иркутского государственного университета путей сообщения, e-mail: nasnikov_dn@irgups.ru

Новиков Михаил Алексеевич, к.ф.-м.н., старший научный сотрудник Института динамики систем и теории управления СО РАН, тел.: 45-30-96; e-mail: nma@icc.ru

Новосельцев Петр Викторович, к.т.н., Улан-Удэнский институт железнодорожного транспорта, тел. (3012) - 283782

Обрывалин Алексей Викторович, аспирант кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонт подвижного состава» Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС), тел.: 89043250440, e-mail: obryvalin_av@mail.ru

Опарин Геннадий Анатольевич, д.т.н., профессор, зам. директора ИДСТУ СО РАН, тел.: (3952) 42-89-25, (3952) 51-14-14, e-mail: oparin@icc.ru

Панченков Анатолий Николаевич, д.т.н., профессор каф. Динамики, прочности машин и сопротивления материалов Нижегородского государственного технического университета, тел. 437-92-04, e-mail: entropyworld@mail.ru

Пахомов Дмитрий Вячеславович, программист Иркутского государственного технического университета, email: ad@istu.edu

Пекарь Константин Александрович, аспирант кафедры «Безопасность жизнедеятельности и экология»Иркутского государственного университета путей сообщения, тел.: (3952) - 638-352, e-mail: pekar_iriit@mail.ru

Перелыгина Александра Юрьевна, старший преподаватель кафедры сопротивления материалов и строительной механики Иркутского государственного технического университета, тел.:(3952) - 405144, e-mail: lapshin@istu.irk.ru

Пунсык-Намжилов Даба-Цыренович, к.т.н., доцент, Директор ООО Химтех Юкос, соискатель, кафедра «Управление техническими системами» (УТС) ИрГУПС, тел.: 8-(3822) 44 17 22, 8- (3822) 51 15 45, 8 903 955 45 07, e-mail: dabat@sibmail.com

Руш Елена Анатольевна, д.т.н, профессор, зав. кафедрой Безопасности жизнедеятельности и экологии Иркутского государственного университета путей сообщения, e-mail: rush_ea@irgups.ru

Рябов Игорь Михайлович, д.т.н., профессор кафедры автомобильных перевозок Волгоградского государственного технического университета, тел.: (8442) – 385729, e-mail: ap@vstu.ru

Сидоров Иван Александрович, аспирант ИДСТУ СО РАН

Сливинская Людмила Павловна, ст. преподаватель САПЭУ, г. Иркутск, тел.: 8-914-9440995

Суров Валерий Павлович, к.т.н., доцент, зам. директора Красноярского филиала ИрГУПС

Туйгунова Альбина Григорьевна, старший преподаватель кафедры «Транспортные системы» Красноярского института железнодорожного транспорта - филиала ГОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения» (КрИЖТ ИрГУПС),

Тюпин Владимир Николаевич, д.т.н, профессор, академик «МАНЭБ», профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности и инженерная защита окружающей среды» Забайкальского института инженеров железнодорожного транспорта филиала ГОУ ВПО ИрГУПС, тел.: 8-914-440-8282, e-mail: bzhd@zab.megalink.ru

Упырь Роман Юрьевич, младший научный сотрудник Иркутского государственного универ-

ситета путей сообщения, тел.: 8-9246032895; e-mail: msxp@list.ru

Феоктистов Александр Геннадьевич, к.т.н., доцент, с.н.с. ИДСТУ СО РАН, тел.: (3952) 42-89-25, (3952) 51-14-14, e-mail: agf@icc.ru

Фигура Константин Николаевич, аспирант Братского государственного университета, e-mail: figura_85@mail.ru

Фомина Инна Владимировна, аспирант Иркутского государственного университета путей сообщения, тел.: 89149511312, e-mail: innabella84@mail.ru

Халиуллин Алексей Калимуллович, д.х.н., профессор кафедры Безопасности жизнедеятельности и экологии Иркутского государственного университета путей сообщения, e-mail: khaliullin_ak@irgups.ru

Хоменко Андрей Павлович, д.т.н., профессор, ректор Иркутского государственного университета путей сообщения, тел.:(3952)-638311, e-mail: homenko@irgups.ru

Шаманов Виктор Иннокентьевич, д.т.н., профессор, зав. каф. «Автоматика и телемеханика» Иркутского государственного университета путей сообщения, тел.: 8-(3952)-63-83-51; e-mail: shamanov_v@irgups.ru

Шастин Владимир Иванович, к.т.н., доцент, зав. кафедрой технологии деревообработки Сибирской академии права, экономики и управления, тел.: (3952) – 706109, 8-9149440995

Якимов Сергей Анатольевич, аспирант каф. технологии машиностроения Братского государственного университета, тел. (3953) – 325360

Янушкин Александр Сергеевич, д.т.н., профессор Братского государственного университета, тел.: (3953) – 325360

Яхина Асия Сергеевна, аспирант ИрГУПС

Ященко Владимир Петрович, к.т.н., доцент кафедры сопротивления материалов и строительной механики Иркутского государственного технического университета, тел.:(3952) - 405144, e-mail: lapshin@istu.irk.ru

Aihan Yin, Institute of Optoelectronics Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology/Wuhan, China 430074, School of Information Engineering, East China Jiaotong University/ Nanchang, China 330013;

Aiyun Zhan, School of Information Engineering, East China Jiaotong University/ Nanchang, China 330013

Baogen Xu, Department of Mathematics, East China Jiaotong University, Nanchang 330013 P.R.China

Bu Jing-jing, Department of environmental engineering, East China JiaoTong University, Nanchang, Jiangxi, 330013, P. R. China

Chunhua Li, School of Basic Science, East China Jiaotong University, Nanchang , Jiangxi 330013, P.R.China Email:chunhuali66@163.com

Dong Zhong-zhen, Department of environmental engineering, East China JiaoTong University, Nanchang, Jiangxi, 330013, P. R. China

Fan Yong, School of Economics and Management, East China Jiaotong University

Fu Ke-jia, Electrical and Electronic Engineering School, East China Jiaotong University, Nanchang, China

Fu Qin-cui, Electrical and Electronic Engineering School, East China Jiaotong University, Nanchang, China

He Bolin, School of Mechanical & Electrical Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China

He Bolin, Key Laboratory of Conveyance and Equipment, Ministry of Education, East China Jiaotong University Nanchang 330013, China

He Renwang School of Electrical and Electronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology and East China Jiaotong University

Jiang Xiangang, professor, School of Information Engineering, East China Jiao Tong University, Nanchang city, Jiangxi Pro, PRC. Postcode: 330013, Telephone number: 0086-0791-7046537

Jiang Xiaojun, professor, School of Information Engineering, East China Jiao Tong University, Nanchang city, Jiangxi Pro, PRC. Postcode: 330013, Telephone number: 0086-0791-7046537

Li Bo, Professor, Pingdingshan Unversity, Pingdingshan city, Henan Pro, PRC.Postcode: 467000, Telephone number: 0086-13183351927, Email: liboyn@sohu.com

Li Li, School of Information Engineering, East China Jiaotong University/ Nanchang, China 330013;

Li Qiuping, School of Mechanical & Electrical Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China

Liu Gao-yuan, Lecturer, Pingdingshan Unversity, Pingdingshan city, Henan Pro,PRC.Postcode:467000, Telephone number:0086-15993550406,Email: gaoyuanliu@163.com

Liu Jue-fu, professor, School of Information Engineering, East China Jiao Tong University, Nanchang city, Jiangxi Pro, PRC. Postcode: 330013, Telephone number: 0086-0791-7046537, Email: liuhong_8716@ecjtu.jx.cn

Liu Zi-ying, electrical and Electronic Engineering School, East China Jiaotong University, Nanchang, China

Mao Xiaodun, deputy professor, School of Economic and Management, East China Jiaotong University, Nanchang

Mo Jia, College of Information Engineering, East-China Jiaotong University, Nanchang 330013, China

Shi Yu-zhen, Lecturer, Pingdingshan Unversity,Pingdingshan city, Henan Pro, PRC.Postcode: 467000, Telephone number:0086-15038899997, Email: shiyuzhen61ys@126.com

Tao Yuchun, Deputy professor, School of Economic and Management, East China Jiaotong University, Nanchang 330013

WANG Sen, School of Basic Science Departments**,** East-China Jiaotong University, Nanchang 330013,China

Wu Cai-bin, Department of environmental engineering, East China JiaoTong University, Nanchang, Jiangxi, 330013, P. R. China

Xiang Su-lin, Department of environmental engineering, East China JiaoTong University, Nanchang, Jiangxi, 330013, P. R. China

Xinliang Zhang, Institute of Optoelectronics Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology/Wuhan, China 430074

Xiong Guangyao, Key Laboratory of Conveyance and Equipment, Ministry of Education, East China Jiaotong University Nanchang 330013, China

Xiong Yue, School of Humanity and Social Science, East China Jiaotong University

Xu Miaocun, professor of College of Information Engineering, EastChina Jiaotong University, Nanchang 330013, China

Xu Zhenning, assistant researcher, International Office, East China Jiaotong University

Xu Zhenning, Assistant Researcher, International Office, East China Jiaotong University

Yu Yingxia, School of Mechanical & Electrical Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China

Zhao Longzhi, Key Laboratory of Conveyance and Equipment, Ministry of Education, East China Jiaotong University Nanchang 330013, China

Zhao Xiaojing, Associate Professor, International School, Eastchina Jiaotong University, Nanchang city, Jiangxi Pro, PRC. Postcode: 330013, Telephone number: 0086-791-7045358, Email: 0791lucy@163.com

Zhou Liping, Associate Professor and Deputy Director, International School International Office, East China Jiaotong University, specializing in English teaching method, international education and English literature. Tel: 86-791-7045357, E-mail: zlp12@yahoo.com.cn

Zhou Zejie, key Laboratory of Conveyance and Equipment, Ministry of Education, East China Jiaotong University Nanchang 330013, China

Министерство образования и науки Российской Федерации
Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Иркутский государственный университет путей сообщения
Иркутский научный центр СО РАН
Российская инженерная академия

Современные технологии
Системный анализ
Моделирование

№2(22)
2009

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Ответственный за выпуск **С.В.Елисеев**

Подписано в печать 28.05.2009. Формат 60x84/8.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. Печ. л. 19.
Уч.-изд. л. 19,5. Тираж 500 экз. Заказ №____
Подписной индекс по каталогу «Почта России»: 64556
ISSN: 1813-9108
Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ.
Сведения о журнале ежегодно
публикуются в международной справочной системе
по периодическим и продолжающимся изданиям
"Ulrich's Periodicals Directory"

ИД №06506 от 26.12.01
Иркутский государственный университет путей сообщения
664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15.

Отпечатано в типографии ООО "Бланкиздат" объединения "Облмашинформ"
г. Иркутск, ул. Советская, 109. Тел. (3952) 21-44-60

Журнал зарегистрирован Министерством Российской Федерации по
делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.
Свидетельство ПИ №13-0574 от 24 декабря 2003 г.
Учредитель Иркутский государственный университет путей сообщения
(664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15)

© Издательство Иркутского государственного университета путей сообщения