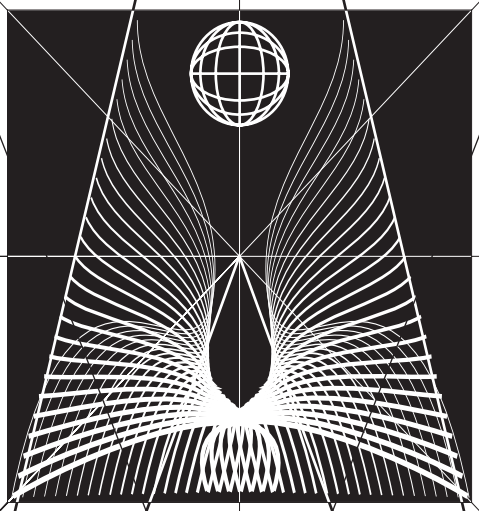
Министерство образования и науки Российской Федерации

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

МОДЕЛИРОВАНИЕ



НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

№4(20)
2008

© Иркутский государственный университет путей сообщения

Министерство образования и науки Российской Федерации

Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта

Иркутский государственный университет путей сообщения
Российская инженерная академия

Предисловие издателя

Уважаемые читатели!

Научному журналу ИрГУПС «Современные технологии. Системный анализ. Моделирование» - 5 лет.

Научному журналу Иркутского государственного университета путей сообщения «Современные технологии. Системный анализ. Моделирование» исполнилось 5 лет. В декабре 2003 года научный журнал получил свидетельство о регистрации (ПИ №13-0547). Инициатором организации журнала выступил проректор ИрГУПС, заслуженный деятель науки РФ, проф., д.т.н. Елисеев С.В., в работе редколлегии на первых этапах становления журнала приняли участие ведущие специалисты ИрГУПСа, Читинского и Братского государственных университетов, Ангарской государственной технической академии, ряд зарубежных ученых. В последние годы в состав редколлегии вошли член-корр. АН СССР Бычков В.Н. и Воропай Н.И., директоры академических институтов.

Журнал прошел достаточно сложный путь становления и формирования инфраструктуры научных связей между учреждениями организациями и предприятиями Иркутской области, а также и других регионов Сибири. География публикуемых статей достаточно разнообразна: города Западной и Восточной Сибири, Центральной России, страны СНГ, Германия, Китай, Корея.

Все материалы, публикуемые в журнале рецензируются и реферируются, с середины 2008 года журнал включен в перечень ВАКа, создав тем самым основу для поддержки исследований и защиты приоритетов научных разработок в области механики и процессов управления, современных технологий, системного анализа и моделирования.

Желаем коллективу редакции журнала дальнейших творческих успехов!

главный редактор, ректор ИрГУПС А.П. Хоменко

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

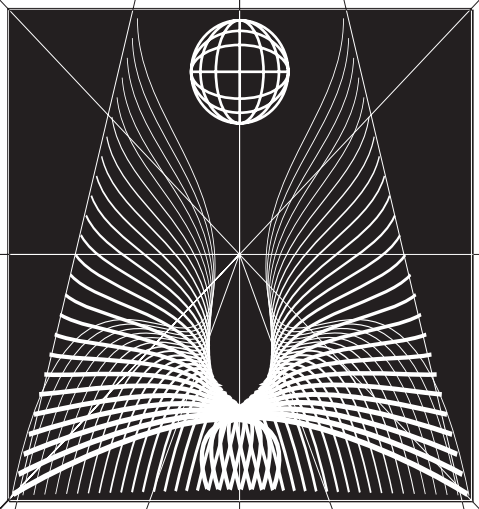
Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта

Иркутский государственный университет путей сообщения
Российская инженерная академия

Современные технологии

Системный анализ

Моделирование



НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

№4(20)
2008

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. АН СССР
Б.Ю. Виноградов, ректор САПЭУ
Н.И. Воропай, директор Института систем энергетики-СО РАН, член-корр. АН СССР

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
Российская инженерная академия

Современные технологии

Системный анализ

Моделирование

СОДЕРЖАНИЕ

Раздел 1. Механика. Транспорт. Машиностроение. Технологии.

Елисеев С.В., Упырь Р.Ю. Мехатронные подходы в задачах вибрационной защиты машин и оборудования 8

Мартьянов В.И., Симонов А.С. Анализ и проектирование трассы автомобильной дороги 16

Дамбаев Ж. Г., Гришко Д. В. Решение прямой задачи геометрии механизмов параллельной структуры с помощью алгебры винтов (моторов) 24

Данеев А.В., Русанов В.А., Удилов Т.В., Шарпинский Д.Ю. Методы оперативного прогнозирования фронта лесного пожара 27

Шаманов В.И. Электроизолирующие свойства эксплуатируемых железобетонных шпал 35

Насников Д.Н. Активные элементы как типовые звенья в управляемых виброзащитных системах 41

Пекарь К.А., Руш Е.А., Халиуллин А.К. Сорбенты для очистки сточных вод на основе отходов химической и нефтехимической промышленности 50

Шумилова Л.В. Экспериментальные исследования выщелачивания золота гетеротрофными бактериями при использовании комбинированных методов окисления 54

Шастин В.И. Современное состояние и перспективы промышленного использования лазерных технологий в машиностроении 60

Раздел 2. Управление в технических системах. Моделирование.

Закарюкин В.П., Крюков А.В., Соколов В.Ю. Системный подход к моделированию многоамперных шинопроводов 68

Руш Е.А. Математическое моделирование природного равновесия в водной экосистеме бассейна реки Ангары 73

Букина А.В. Численные методы оптимизации интегро-дифференциальной системы 77

Логунов А.С. Структурное моделирование пневматических систем в задачах вибрационной защиты объектов. Обобщенные подходы 82

Жигунова Я.А., Носков С.И. Определение гармоник информативного сигнала монитора на основе методов регрессионного анализа 89

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

Современные технологии
Системный анализ
Моделирование

СОДЕРЖАНИЕ

Раздел 3. Системный анализ и междисциплинарные подходы в исследованиях.

Гончаренко С.С. Транспортно-промышленное освоение азиатской части России - стратегическое направление комплексного развития страны в XXI веке 92

Каштанов Ю.Б., Узунов В.Г., Резник И.Ю. Системный подход в разработке научно-методических и организационно-технических мероприятий по обеспечению качества и безопасности транспортных систем 104

Истаева А.А. Особенности обеспечения устойчивого развития транспортной отрасли 115

Воробьева В.В., Малов В.Ю., Мелентьев Б.В., Позамантир Э.И. Транспортная инфраструктура азиатской России: подход к прогнозированию и результаты расчетов 119

Болгов М.В., Иваньо Я.М. Задачи моделирования агротехнологий при высокой повторяемости экстремальных природных событий 128

Лонцих П.А., Резник Ю.Н., Лескова Т.М. Проблемы сертификации и аудита систем менеджмента качества 132

Дмитренко А.В. Формирование системы производственных связей с учетом характера функционирования транспорта 135

Айзенберг Н.И. Проблемы регулирования цен и тарифов на продукты естественных монополий 140

Лидин К.Л. Поведенческие финансы и экономика эмоций 148

Страницы истории Иркутского авиационного завода 154

Конференция и выставка "Трансжат-2008" 161

Новые учебные пособия 162

Публикации в журнале «Современные технологии. Системный анализ. Моделирование» за 2008 г. 164

Юбилеи и даты 171

Аннотации опубликованных статей 172

Сведения об авторах 182

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

Modern technologies
System analysis
Modeling

CONTENTS

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

Eliseev S.V., Upyr' R.Yu. Mechatronics approaches at the problems of vibroprotection of machines and the equipment 8

Martjanov V.I., Simonov A.S. Analysis and designing of a highway line 16

Dambaev Zh. G., Grishko D.V. The decision a direct problem of geometry mechanisms parallel structure by means of screws algebra 24

Daneev A.V., Rusanov V.A., Udilov T.V., Sharpinsky D.Yu. Methods of operative forecasting front of forest fire 27

Shamanov V.I. Electroisolat's property of maintained armored concrete ties 35

Nasnikov D.N. Active elements as typical parts in operated vibroprotection systems 41

Pekar K.A., Rush E.A., Khaliullin A.K. Sorbent for sewage treatment on the basis of waste of the chemical and petrochemical industry 50

Shumilova L.V. Experimental research of leaching gold by heterotrophic bacteria by using of the oxidation combined methods 54

Shastin V.I. A modern condition and prospects of industrial use of laser technologies in mechanical engineering 60

Part 2. Control in technical systems. Modelling

Zakaryukin V.P., Krjukov A.V., Sokolov V.Yu. The system approach to modeling of multi-ampere busbar 68

Rush E.A. Mathematical modelling of natural-ecological equilibrium in water ecosystems of the river Angara 73

Bukina A.V. The numerical methods of optimization of integro-differential system 77

Logunov A.S. The structural modelling of pneumatic systems in problems of vibroprotection of objects. The generalized approaches 82

Zhigunova Ya.A., Noskov S.I. Definition of harmonics of the informative signal of the monitor on the basis of methods of the regression analysis 89

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

Modern technologies
System analysis
Modeling

CONTENTS

Part 3. System analysis and intersubject approaches in researches.

Goncharenko S.S. Transport-industrial development of the Asian part of Russia - a strategic direction of complex development of the country in XXI century 92

Kashtanov Yu.B., Uzunov V.G., Reznik I.Yu. The system approach in development of scientifically-methodical and organizational-technical actions on maintenance of quality and safety of transport systems 104

Istaeva A.A. The feature of maintenance of steady development of transport branch 115

Vorobeva V.V., Malov V.Yu., Melentev B.V., Pozamantir E.I. The transport infrastructure of the Asian part of Russia: the approach to forecasting and results of calculations 119

Bolgov M.V., Ivan'o Ya.M. Theproblems of modelling feature of agrotechnologies at high repeatability of extreme natural events 128

Lontsih P.A., Reznik Yu.N., Leskova T.M. The problem of certification and audit of systems of a quality management 132

Dmitrenko A.V. The choice of rational structure of an production links, in view of character of functioning of transport 135

Aizenberg N.I. The problem of price control and tariffs for products of natural monopolies 140

Lidin K.L. The behavioural finances and economy of emotions 148

The pages of history of Irkutsk aircraft plant 154

Conference and exhibition "Transzhat-2008" 161

New study guidebook 162

List of papers published in "The modern technologies. System analysis. Modelling" in 2008 164

Anniversaries 171

The abstracts of published articles 172

Information about the authors 182

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, А.А. Совершенствование систем разработки угольных месторождений / А.А. Иванов, В.П. Петров // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. / Иркутский государственный университет путей сообщения - 2004 - №1(12) - С. 8-15.
Ил. - 5. Табл. - 2. Библ. - 8 наим.

Рассмотрены способы разведки залежей скважинами и горными выработками, задаваемыми в пространстве через равные расстояния.

Ключевые слова: *месторождение, выработка, скважина.*

Количество знаков в аннотации - не более 400.

Индекс УДК, сведения об авторах и аннотация предоставляются в виде файла с расширением *.DOC.

5) **Текст статьи представляется в виде файла с расширением *.DOC** - документа, построенного средствами Microsoft Word 97 или последующих версий, **и распечаткой** на стандартных листах формата А4 (210х297 мм) **в две 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 - **2 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: 0,8 см.**
- При вставке формул использовать **Microsoft Equation 3** при установках: элементы формулы выполняются ***курсивом;*** для греческих букв и символов назначать фонт (шрифт) Symbol, для остальных элементов - фонт **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, TIFF **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 7.1-2003**.

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**
Елисеев Сергей Викторович, Засядко Анатолий Алексеевич
Email: eliseev_s@inbox.ru

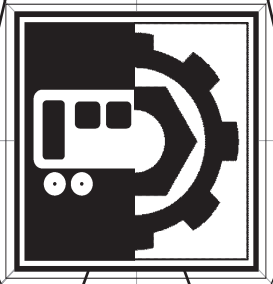
Министерство образования и науки Российской Федерации
Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта

Иркутский государственный университет путей сообщения
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
Энергоснабжение и электромеханика
Управление техническими системами
Информационные технологии

Елисеев С.В., Упырь Р.Ю.

УДК 62.52

МЕХАТРОННЫЕ ПОДХОДЫ В ЗАДАЧАХ ВИБРАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

Построение исходных структурных схем в задачах вибрационной защиты достаточно подробно рассмотрено в работах [1], [2]. Вместе с тем введение дополнительных связей при реализации принципов управления динамическим состоянием по относительному отклонению (что связано с кинематическим возмущением) в ряде случаев может рассматриваться как случай действия так называемых скрытых сил [3].

I. Рассмотрим в связи с этим простейшую модель виброзащитной системы (ВЗС) в виде системы с одной степенью свободы.

Запишем выражения для кинетической и потенциальной энергии

$$T = \frac{1}{2} m \dot{y}_1^2; \qquad (1)$$

$$\Pi = \frac{1}{2} k_1 \left(y_1 - y \right)^2 + \frac{1}{2} k_2 y_1^2. \qquad (2)$$

Структурная схема ВЗС может быть представлена эквивалентной в динамическом отношении системой автоматического управления (САУ), как показано на рис.2. Передаточная функция системы

$$W(p) = \frac{\bar{y}_1}{\bar{y}} = \frac{k_1 + k_2}{m_1 p^2 + k_1 + k_2}, \qquad (3)$$

в физическом смысле, представляет собой коэффициент передачи амплитуды колебаний основания на объект, который может быть определен амплитудно-частотной характеристикой.

Анализируя структурную схему на рис. 2, можно отметить, что пружина с жесткостью k_2 представляет собой дополнительную динамическую связь, а оба упругих элемента (k_1 и k_2) реализуют в системе принцип управления по относительному отклонению (y_1-y). Вместе с тем, систему связей в структурной схеме можно представить таким образом, чтобы дополнительная связь (пружина с жесткостью k_2) вводилась двумя ветвями: как управление по абсолютному отклонению ($-y_1 k_2$) и, как управление по внешнему возмущению. Структурная схема ВЗС в этом случае примет вид, в соответствии с рис. 3.

Найдем передаточную функцию ВЗС по смещению основания y, используя правила структурных преобразований [2]:

$$W(p) = \frac{\bar{y}_1}{\bar{y}} = \frac{k_1 + k_2}{m_1 p^2 + k_1 + k_2}. \qquad (4)$$

Сравнение (3) и (4) показывает их тождество, однако, такой прием детализации пред-

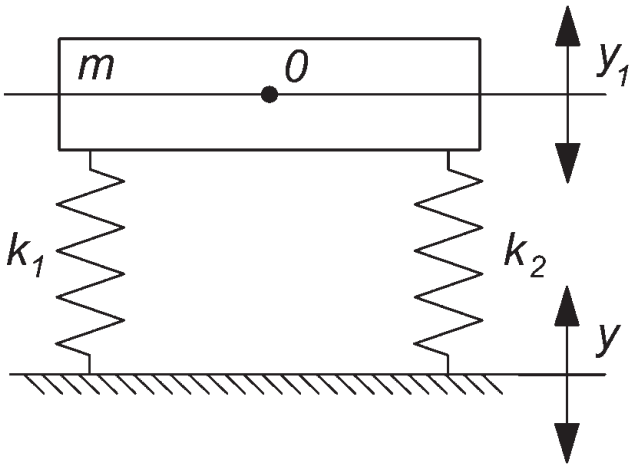


Рис. 1. Расчетная схема виброзащитной системы при кинематическом возмущении y

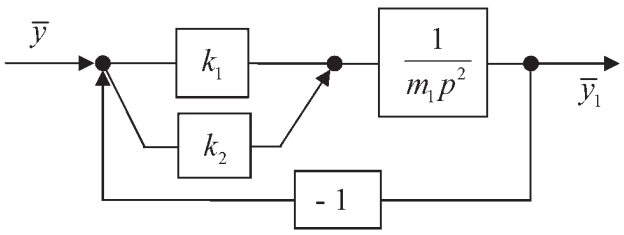


Рис. 2. Структурная схема ВЗС при кинематическом возмущении

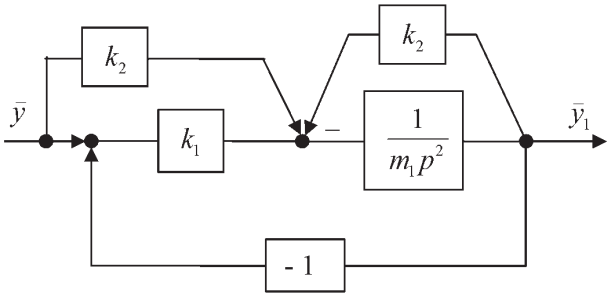


Рис. 3. Структурная схема ВЗС с выделенными каналами управления динамическим состоянием по абсолютному отклонению и по внешнему возмущению

ставлений о кинематическом возмущении дает возможность построить методику учета "скрытых сил" при реализации вводимых дополнительных связей, описываемых дифференциальными уравнениями. Последнее связано с существованием фрагментов системы, имеющих возможность создавать динамические усилия даже при неподвижном объекте защиты. В этом случае в структуре дополнительной связи, как правило, имеется элемент, совершающий независимое движение, возбуждаемое внешними силами.

II. Пусть виброзащитная система имеет расчетную схему в виде системы с двумя степенями свободы. Структурная схема системы, представленной на рис.4 имеет вид, как показано на рис.5.

Передаточная функция ВЗС при силовом возмущении $\left(y=0, P\neq 0\right)$ определяется выражением

$$W_1=\frac{y_2}{P}=\frac{m_1p^2+k_1+k_2}{\left(m_1p^2+k_1+k_2\right)\left(m_2p^2+k_2+k_3\right)-k_2^2}, \quad (5)$$

а при $P=0, y\neq 0$, то есть при кинематическом возмущении, соответственно –

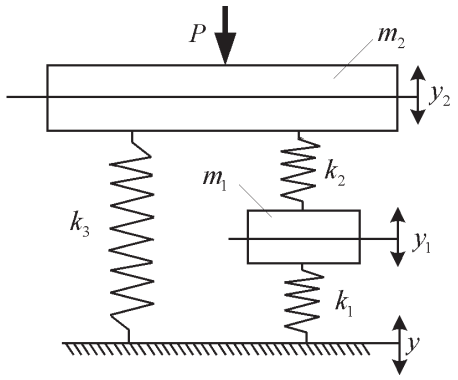


Рис. 4. Расчетная схема ВЗС с дополнительной цепью, колебательного вида: m_2 - масса объекта защиты; k_3 - жесткость основного упругого элемента виброзащитной системы; k_1, k_2, m_1 - элементы упругие и массоинерционные дополнительной связи

$$W_2=\frac{y_2}{y}=\frac{\left(k_1\cdot k_2\right)+k_3\left(m_1p^2+k_1+k_2\right)}{\left(m_1p^2+k_1+k_2\right)\left(m_2p^2+k_2+k_3\right)-k_2^2}. \quad (6)$$

Частотное уравнение в (5), (6) можно записать в виде

$$A=m_2p^2+k_3+\frac{k_2\left(m_1p^2+k_1\right)}{m_1p^2+k_1+k_2}, \quad (7)$$

что дает возможность пояснить влияние «скрытых сил» при использовании технологий структурных интерпретаций. В этом случае в системе, расчетная схема которой приведена на рис. 4, параллельно основной пружине (k_3) может быть введена дополнительная связь в виде некоторого дополнительного устройства. Последнее представлено колебательной структурой, состоящей из массоинерционного элемента (m_1) и двух пружин с жесткостями k_1 и k_2. При кинематическом возмущении m_1 придет в движение и будет колебаться даже при неподвижном элементе m_2. На рис.6 ВЗС показаны с использованием представлений о введении дополнительной

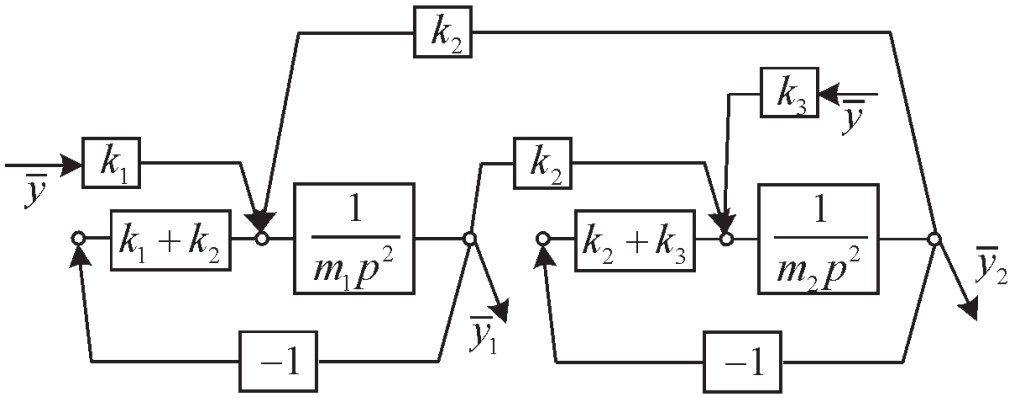


Рис. 5. Структурная схема системы, приведенной на рис.4

связи $W_{доп}(p)$ параллельно пружине с жесткостью k_3. $W_{доп}(p)$ определяется из расчетной и структурной схем, показанных на рис. 7,а,б. Передаточная функция дополнительной связи имеет вид

$$W_{доп}(p)=\frac{\bar{F}}{\bar{y}}=\frac{k_2\left(m_1p^2+k_1\right)}{m_1p^2+k_1+k_2}. \qquad (8)$$

В этом случае дополнительная связь формирует силу F, которая передается на объект защиты (m_2) и выполняет роль некоторой пружины, жесткость которой зависит от частоты внешнего воздействия.

Будем полагать, что $y=0$ и $P\neq 0$, тогда из расчетной схемы на рис.6 следует, что на систему действует силовое возмущение, а дополнительная связь входит с управлением по абсолютному отклонению объекта защиты y_2, поэтому передаточная функция ВЗС будет иметь вид

$$W_1(p)=\frac{\bar{y}_2}{\bar{P}}=\frac{1}{m_2p^2+k_3+W_{доп}(p)}. \qquad (9)$$

В выражении (9) $W_{доп}(p)$ вводится так, как предлагается в соответствии с методикой динамического синтеза [2]. Однако ситуация меняется, если $y\neq 0$ и $P=0$, так как кинематическое возмущение создает движение формирующее переносные силы инерции. Такие силы в дополнительных цепях, можно отнести к "скрытым" и они дополнительно действуют на объект защиты.

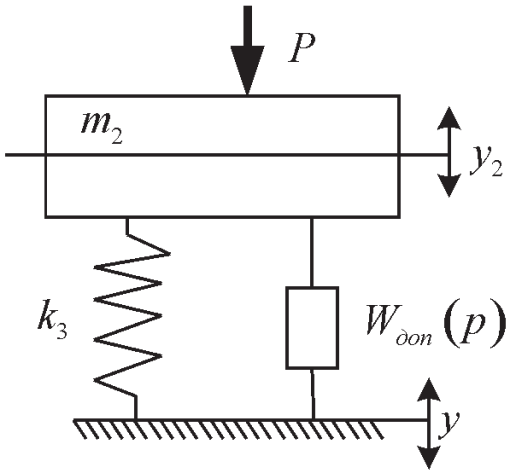


Рис.6. Структурная схема ВЗС с дополнительной связью в виде колебательной структуры с одной степенью свободы.

III. При кинематическом возмущении y, учитывая способ построения передаточной функции системы при относительном управлении динамическим состоянием объекта защиты (рис.6), передаточная функция ВЗС принимает вид:

$$W_2(p)=\frac{\bar{y}_2}{\bar{y}}=\frac{k_3+W'_{доп}(p)}{m_2p^2+k_3+W'_{доп}(p)}, \qquad (10)$$

где $W'_{доп}(p)$ определяется выражением (8).

Вместе с тем, при независимости возмущения движения по координате y_1 от переносного движения формируется сила $F_{доп}$. Эта сила инерции $F_{доп}$ передается отдельным каналом воздействия, в соответствии с рассмотренным в разделе I этой статьи подходом, по-

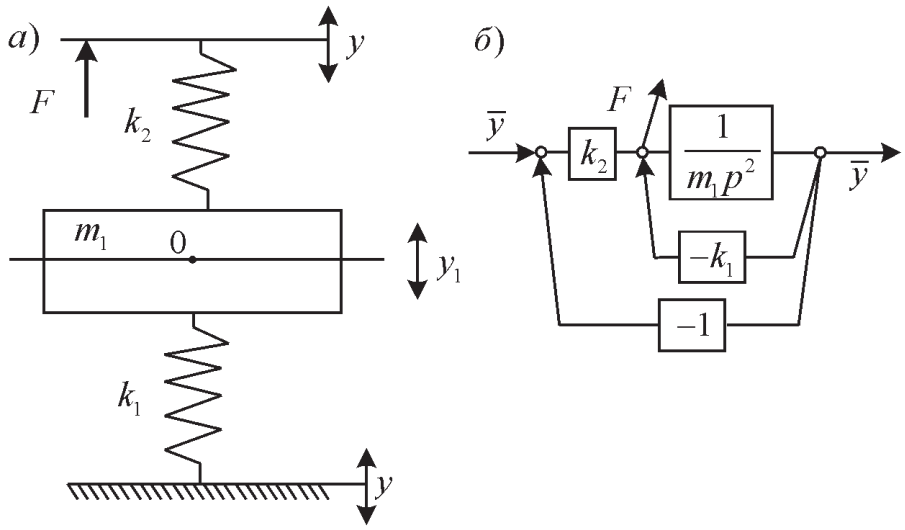


Рис.7. Расчетная (а) и структурная (б) вспомогательные расчетные схемы дополнительной цепи, формирующей силовое воздействие на объект (m_2).

зволяющим разделить управление по относительному смещению, вводя управление по внешнему возмущению, тогда

$$F_{don} = m_1 \ddot{a}, \qquad (11)$$

где $\ddot{a} = \ddot{y}_{1don}$ - ускорение, определяемое из структурной схемы дополнительной связи, как это показано на рис.8. Таким образом

$$W'_{don}(p) = \frac{\bar{y}_2}{\bar{y}} = \frac{m_1 p^2 \cdot k_2}{m_1 p^2 + k_1 + k_2}. \qquad (12)$$

Для учета особенностей введение сил переносного движения, рассмотрим структурную схему на рис.9, откуда

$$W_2(p) = \frac{\bar{y}_2}{\bar{y}} = \frac{k_3 + W_{gon}(p) - W'_{gon}(p)}{m_2 p^2 + W_{gon}(p)}. \qquad (13)$$

Упрощая (13), получим

$$W_2 = \frac{y_2}{y} = \frac{(k_1 \cdot k_2) + k_3(m_1 p^2 + k_1 + k_2)}{(m_1 p^2 + k_1 + k_2)(m_2 p^2 + k_2 + k_3) - k_2^2}, \qquad (14)$$

что совпадает с выражением (6).

Таким образом, при использовании структурных подходов в оценке динамических свойств систем, имеющих дополнительные связи в виде колебательных структур, необходимо обращать внимание на характер внешних воздействий. В частности, кинематическое возмущение может создавать эффекты действия «скрытых сил» [3]. Учет инерционных воздействий, вызванных переносным движением, возможен путем учета передачи инерционных сил по схемам управления от внешних возмущении. Интересно отметить, что из (5) следует возможность динамического гашения в ВЗС при силовом возмущении, а частота динамического гашения определяется выражением

$$\omega'_{дин} = \sqrt{\frac{k_1 + k_2}{m_1}}; \qquad (15)$$

при кинематическом возмущении динамическое гашение возможно при условии:

$$\omega''_{дин} = \sqrt{\frac{k_3(k_1 + k_2) + k_1 k_2}{m_1}}. \qquad (16)$$

IV. Полученные результаты можно истолковать и с позиции введения пружины с приведенной жесткостью, которая зависит от частоты. В этом случае жесткость пружины определяется выражение

$$K_{пр} = \frac{k_2(k_1 - m_1\omega^2)}{k_1 + k_2 - m_1\omega^2}. \qquad (17)$$

Зависимость жесткости такой пружины от частоты ω показана на рис. 10.

При малых частотах жесткость уменьшается и при $\omega = \sqrt{\frac{k_1}{m_1}}$ становится равной нулю; затем жесткость начинает возрастать и при $\omega_1 = \sqrt{\frac{k_1 + k_2}{m_1}}$ достигает больших значений ($K_{пр} \to 0$). В системе в этом случае наблюдается динамическое гашение на массе m_2 при силовом характере возмущения. С последующим ростом частоты ω приведенная жесткость стремится к значению k_2 ($K_{пр} \to k_2$ при $\omega \to \infty$). В соответствии с [2] можно отметить также, что пружина с приведенной жесткостью $K_{пр}$, работающая в параллельном соединении, имеет передаточную функцию, образованную из типовых звеньев путем последовательного соединения двух структур: пружины жесткостью k_2 (типового элемента) и блока $(m_1 p^2 + k)$,

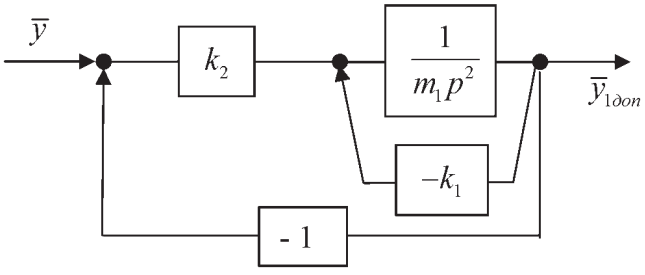


Рис.8. Структурная схема для определения ускорения массы , вызванной переносным движением

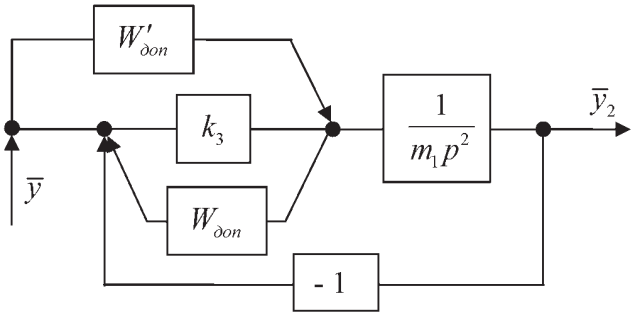


Рис.9. Схема учета влияния скрытой силы (действие переносного движения y на массу m_1)

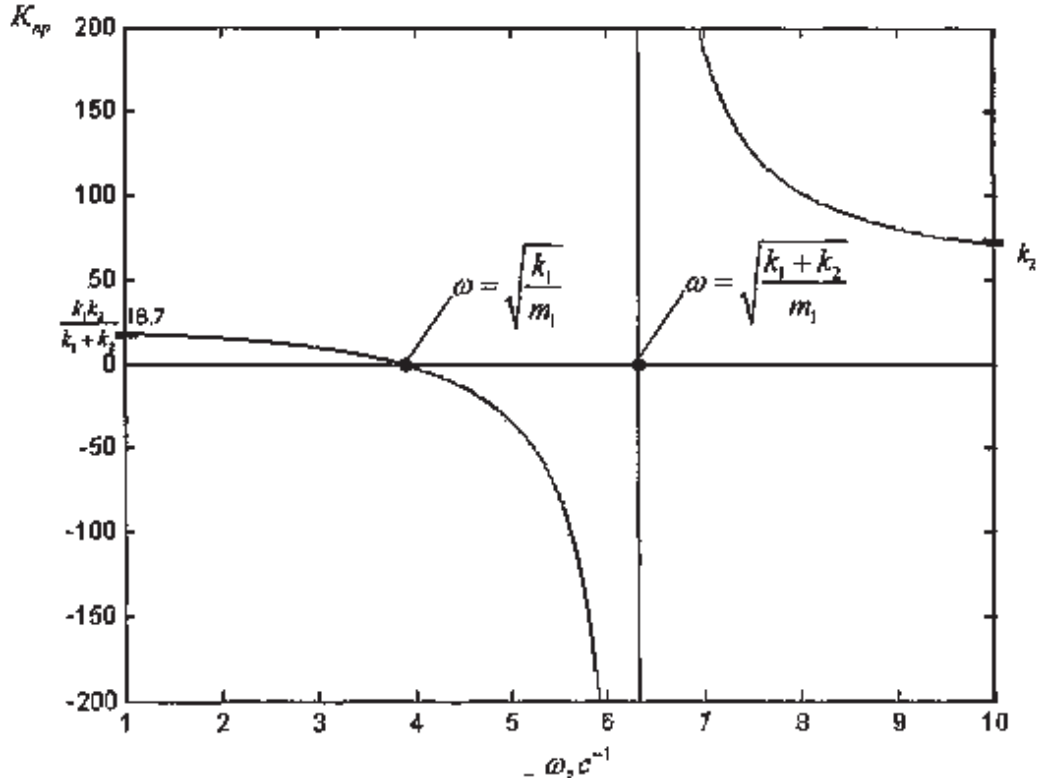


Рис. 10. Зависимость приведенной жесткости дополнительной связи от частоты при $m_1 = 2$, $k_1 = 30$, $k_2 = 50$

состоящего из параллельного соединения типового звена двойного дифференцирования $(m_1 p^2)$ и пружины жесткостью k_1 [2]:

$$K_{np} = \frac{y_2}{y} = \frac{k_2 \cdot \left(m_1 p^2 + k_1\right)}{\left(m_1 p^2 + k_1\right) + k_2}. \qquad (18)$$

Последнее позволяет ввести в рассмотрение при проектировании виброзащитных систем понятие обобщенной пружины, приведенная жесткость которой зависит от частоты.

V. Рассмотрим виброзащитную систему, в которой дополнительная связь в виде колебательной структуры имеет (рис. 11) два инерционно-массовых элемента (m_1, m_2) и три пружины с жесткостями k_1, k_2, k_3. Система дифференциальных уравнений движения примет вид

$$\begin{aligned} &m_1 \ddot{y}_1 + k_1 y_1 + k_2 y_1 - k_2 y_2 = k_1 y, \\ &m_2 \ddot{y}_2 + k_2 y_2 + k_3 y_2 - k_2 y_1 - k_3 y_3 = 0, \\ &m_3 \ddot{y}_3 + k_3 y_3 + k_4 y_3 - k_3 y_2 = k_4 y. \end{aligned} \qquad (20)$$

Соответствующая (20) структурная схема эквивалентной в динамическом отношении САУ представлена на рис. 12. Полагая, что структурной схеме на рис. 12 можно придать вид, как показано на рис. 13, можно определить ряд передаточных функций, в частности

$$W_1(p) = \frac{\bar{y}_3}{\bar{y}} = \frac{k_2^2 k_4 + AB \cdot k_4 + k_1 k_2 k_3}{ABC - Ck_2^2 - Ak_3}, \qquad (21)$$

$$W_2(p) = \frac{\bar{y}_3}{\bar{P}} = \frac{AB - k_2^2}{ABC - Ck_2^2 - Ak_3^2}, \qquad (22)$$

$$W_3(p) = \frac{\bar{y}_2}{\bar{P}} = \frac{AB - k_2^2}{ABC - Ck_2^2 - Ak_3^2}, \qquad (23)$$

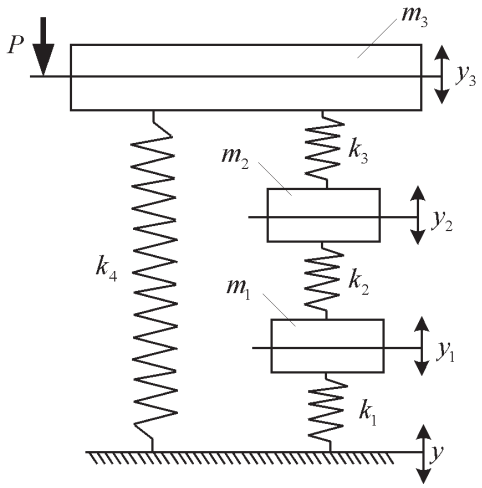


Рис. 11. Расчетная схема ВЗС с дополнительной связью в виде колебательной структуры $(m_1, m_2, k_1, k_2, k_3)$

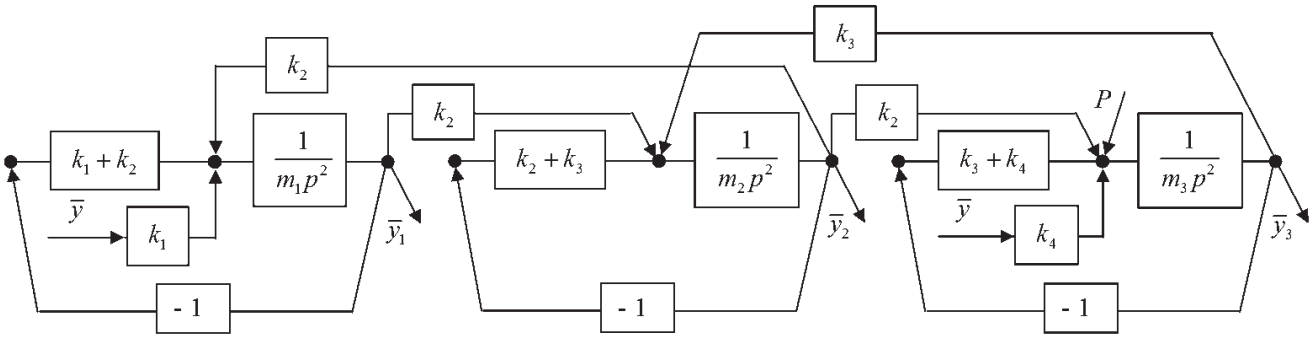


Рис. 12. Структурная схема для системы, показанной на рис. 11

$$W_4(p)=\frac{\bar{y}_1}{\bar{P}}=\frac{BC-k_3^2}{ABC-Ck_2^2-Ak_3^2}. \qquad (24)$$

Рассмотрим более подробно передаточную функцию $\overline{W}_1(p)$ и ее преобразования, например, в виде:

$$W(p)=\frac{k_4+\frac{k_1k_2k_3}{R}}{m_3p^2+k_4+\frac{R_1}{R}}, \qquad (25)$$

где

$$R=(m_1p^2+k_1)(m_2p^2+k_3)+k_2(m_2p^2+k_3)+k_2(m_1p^2+k_1).$$
$$R_1=k_3m_2p^2(m_1p^2+k_1+k_2)+k_2k_3(m_1p^2+k_1).$$

В выражении (25) частотное уравнение имеет вид

$$m_3p^2+k_4+k_{np}=0, \qquad (26)$$

где

$$K_{np}(p)=\frac{R_1}{R}. \qquad (27)$$

В свою очередь $K_{np}(p)$ представляет собой обобщенный упругий элемент, расчетная схема которого приведена на рис. 14. Найдем

$$K_{np}=\frac{(m_1p^2+k_1)\cdot k_2}{m_1p^2+k_1+k_2}, \qquad (28)$$

что соответствует параллельному соединению в блок элементов m_1p^2 и k_1 с последующим последовательным соединением блока $(m_1p^2+k_1)$ и пружины k_2. Для более сложного случая необходимо блок, определяемый выражением (28), ввести в параллельное соединение с элементом m_2p^2 и после этого ввести пружину k_3 в последовательное соединение, тогда можно найти приведенную жесткость $K'_{np}(p)$ для обобщенной пружины в системе, приведенной на рис. 11:

$$K'_{np}(p)=\frac{\left\{\frac{(m_1p^2+k_1)k_2}{m_1p^2+k_1+k_2}+m_2p^2\right\}\times k_3}{\left\{\frac{(m_1p^2+k_1)k_2}{m_1p^2+k_1+k_2}+m_2p^2\right\}+k_3}. \qquad (29)$$

Развернув (29), можно найти, что (29) совпадает с (27).

В приведенном выше разделе V статьи рассмотрено прямое получение передаточных

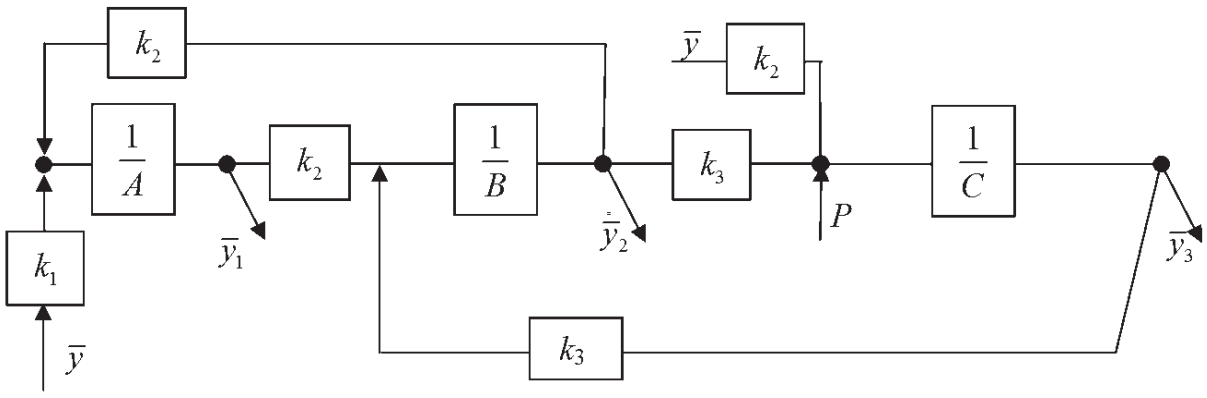


Рис. 13. Упрощенная структурная схема системы, приведенной на рис. 11:
$A=mp^2+k_1+k_2$, $B=m_2p^2+k_2+k_3$, $C=m_3p^2+k_3+k_4$

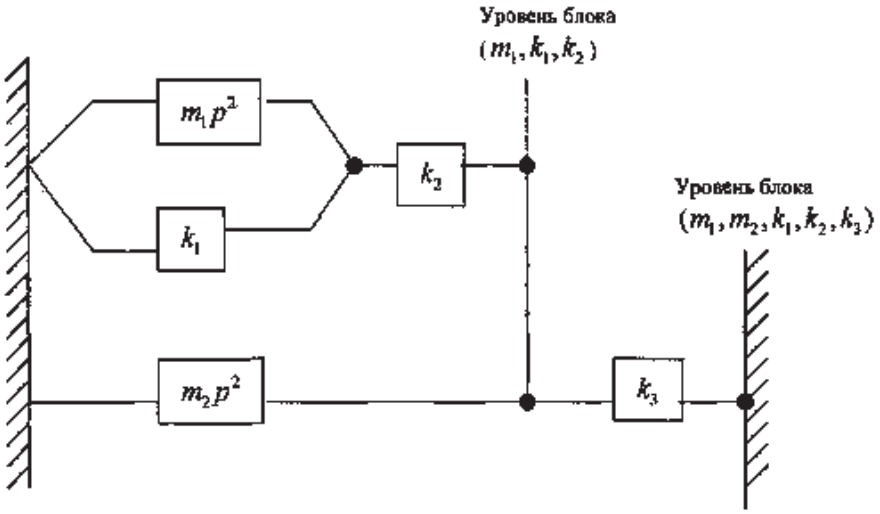


Рис. 14. Структура дополнительной связи, позволяющая определять приведенную жесткость обобщенной пружины для расчетных схем на рис. 6 и 11

функций, следующее из системы дифференциальных уравнений (20) или (что тоже самое) из структурных схем, приведенных на рис. 12, 13. Однако, возможен и другой подход, развитый в работе [2]. В этом случае расчетная схема системы с тремя степенями свободы приводится к виду, как это показано на рис. 6. Для определения $W_{gon}(p)$ может быть использовано выражение (29). Расчетная схема системы, приведенной на рис. 11, таким образом, может быть представлена так, как это показано на рис. 15.

Реализуя упомянутый подход, найдем передаточную функцию ВЗС при кинематическом возмущении y:

$$W(p)=\frac{\overline{y}_3}{\overline{y}}=\frac{k_4+W_{gon}(p)}{m_3p^2+k_4+\overline{W}_{gon}(p)}. \qquad (30)$$

Принимая во внимание то обстоятельство, что дополнительная связь в виде колебательной структуры (она описывается системой из двух дифференциальных уравнений движения), приводит к появлению двух «скрытых» сил [3], внесем соответствующие коррективы. Последние заключаются в том, что, аналогично схеме на рис. 9 и выражению (13), найдем $W'_{gon}(p)$, которое имеет вид

$$W'(p)=W'_{don}(p)_1+W'_{don}(p)_2, \qquad (31)$$

где

$$W'_{gon}(p)_1=\frac{R_2k_3m_1p^2}{D}, \qquad (32)$$

$$W'_{don}(p)_2=\frac{k_3m_2p^2(m_1p^2+k_1+k_2)}{D}. \qquad (33)$$

Здесь

$$D=(m_1p^2+k_1)\left(m_2p^2+k_3\right)+ \\ +k_2(m_2p^2+k_3)+k_2(m_1p^2+k_1). \qquad (34)$$

Для определения $W'_{don}(p)_1$ и $W'_{don}(p)_2$ используется расчетная (рис. 16 а) и структурная схема (рис. 16 б) цепи дополнительной связи.

Учитывая переносное движение (кинематическое возмущение - y), найдем переносные силы инерции, действующую на элементы массой m_2 и m_1, для чего воспользуемся структурной схемой на рис. 16 б, откуда могут быть найдены, через соответствующие передаточные функции, выражения, аналогичные (31), (33). При этом переносная сила инерции, вызванная движением основания, определяется как произведение масс (m_1 и m_2) на соответствующие ускорения. Действительно, ис-

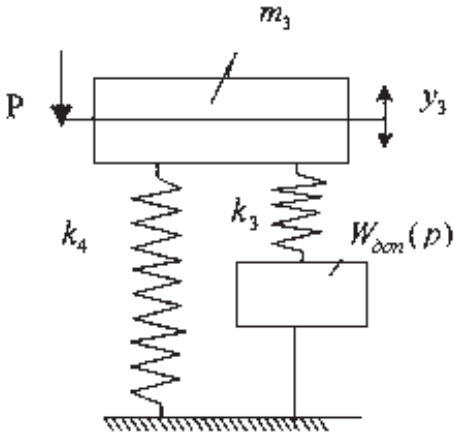


Рис. 15. Приведенная расчетная схема системы, соответствующей рис. 11

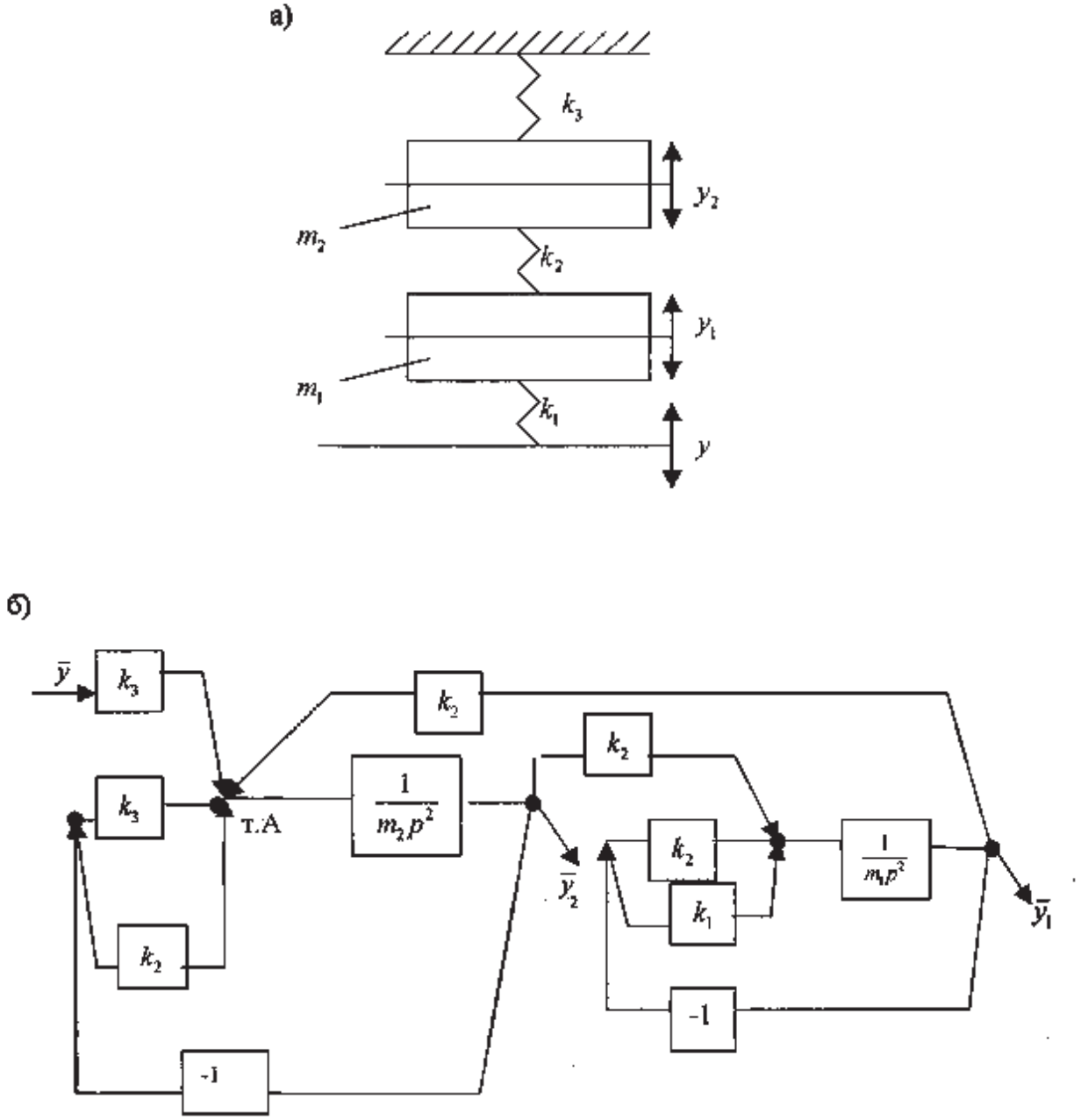


Рис. 16. Расчетная (а) и структурная (б) схемы для колебательного контура дополнительной связи

пользуя структурную схему на рис. 16 б, получим, что при действии $\ddot{y}$ на вход в т.А передаточные функции имеют вид

$$W(p)_1 = \frac{\bar{y}_2}{\bar{y}} = \frac{k_3(m_1 p^2 + k_1 + k_2)}{D}, \quad (35)$$

$$W(p)_2 = \frac{\bar{y}_1}{\bar{y}} = \frac{k_3 k_2(m_1 p^2 + k_1 + k_2)}{D}, \quad (36)$$

откуда могут быть определены соответствующие переносные ускорения, а через них и найдены «скрытые» силы.

$$W'_{don}(p)_1 = \frac{k_2 k_3 \cdot m_1 p^2}{D}, \quad (37)$$

$$W'_{don}(p)_2 = \frac{k_3 m_2 q^2(m_1 p^2 + k_1 + k_2)}{D}, \quad (38)$$

а их действие учитывается в соответствии с представлениями о возможности по иному

выстраивать управление по относительному отклонению.

Таким образом, формирование передаточных функций ВЗС, имеющих в своей структуре дополнительные связи, относительно которых ожидается появление «скрытых» сил, может производиться на той же основе, что и при использовании различных видов обычных связей, не требующих описания через дифференциальные уравнения. Однако при этом необходимо учитывать характер внешнего воздействия, где ожидается действие. При кинематическом возмущении действие "скрытых сил", как было показано, возникает необходимость перехода при использовании структурных методов динамического синтеза к комбинации управления по внешнему воздействию и по абсолютному отклонению объекта защиты.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Eliseev, S.V. Dynamics of mechanical Systems with Additional ties / S.V. Eliseev, A.V. Lukyanov, Yu.N. Reznik, A.P. Khomenko // Irkutsk: Irkutsk State University. 2006. - 315 p.
2. Елисеев, С.В. Динамический синтез в обобщенных задачах виброзащиты технических объектов / С.В. Елисеев, А.А. Засядко, Ю.Н. Резник, А.П. Хоменко — Иркутск. Изд-во Иркутского государственного университета. - 2008.- 527 с.
3. Блехман, И.И. Вибрационная механика / И.И. Блехман - М.: Физматлит, 1994. — 400 с.

Мартьянов В.И., Симонов А.С. УДК 625.71.8

АНАЛИЗ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРАССЫ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

Трасса автомобильной дороги представляет собой сложную пространственную линию, составленную в плане и продольном профиле из трех типов элементов: отрезки прямой, переходные кривые (клотоиды), отрезки круговых кривых, удовлетворяющие ограничениям нормативных документов на геометрические параметры [7].

В настоящей работе рассматривается подход к автоматизации проектирования трассы автомобильной дороги на цифровой топооснове, как комбинаторной задачи [6] высокой сложности дискретной математики, если считать, что имеются минимальный шаг (отрезок прямой) и минимальные уголы поворота следующего шага в горизонтальной и вертикальной плоскостях относительно предыдущего (параметра перебора при проектировании трассы из точки А в точку В). Предполагаем, также, что рельеф задан измерениями высот на нерегулярной сетке и для определения высоты используется аппроксимирующая функция $z = f(x, y)$ (определяет высоту точки с географическими координатами *(x, y)*), которая задается, например, триангуляцией Делоне, аппроксимируя поверхность линейными треугольниками. Отметим, что такой способ аппроксимации поверхности затрудняет возможность применения стандартных методов непрерывной математики (нет формул или уравнений, задающих поверхность и трассу на ней), а также, не применимы традиционные градиентные методы.

По алгоритмической природе данная задача относится к комбинаторным проблемам большой сложности (подкласс NP — полных проблем) [6]. Наиболее близким из классических методов решения подобного рода задач (по постановке и методике решения) является динамическое программирование, хотя главное внимание здесь будет уделяться не оптимизации значения целевой функции, а поиску рациональных решений (или допустимых управлений в терминах динамического программирования).

В работе уточняется формализация схемы решения задач сетевого планирования логико-эвристическими методами [1-4] с позиции итерационного подхода к построению алгебраических систем, удовлетворяющих огра-

ничениям [2], причем для проверки выполнимости некоторых ограничений на модифицированной алгебраической системе (полученной после применения оператора или последовательности операторов преобразований) будут использоваться методы распознавания ситуаций [4].

Реализованное приложение данной работы (Госконтракт №254 2003-05гг. с Администрацией Иркутской области) связано с построением цифровой модели трассы автомобильной дороги (включая схематический план) по данным дорожной видеолаборатории, позволяющей снимать высокоточные параметры дороги в движении, в частности, координаты трассы дороги (GPS и гироскопическая система), поперечные и продольные уклоны (инклинометры) и видеоряды.

1. Математическая постановка задачи трассирования.

Основной единицей измерения величин является метр (использование других единиц измерения оговаривается отдельно).Далее, d – длина шага трассирования (можно полагать равной шагу измерения для используемого масштабного ряда, умноженному на целую константу, например, на единицу).

1.1. Прямая постановка задачи трассирования.

На прямоугольной области $Rect = [(x_0, y_0), (x_k, y_k)]$ заданы пункты $A = (X_a, Y_a)$ и $B = (X_b, Y_b)$, которые надо соединить трассой $Tr = \{ (T_i, T_{i+1}) \mid i = 0,n+1 ; T_0 = (A, z_0); T_{n+1} = (B, z_{n+1})$; 1-ая пара (T_0, T_1); последняя пара $(T_n, T_{n+1})\}$, удовлетворяющая ограничениям по геометрическим параметрам.

Замечание 1. *Точки T_i имеют третью координату z_i по оси Z, которая может отличаться от значения аппроксимирующей функции $z = f(x,y)$, определяющей высоту точки с географическими координатами (x, y). Разность с отрицательным значением соответствует глубине выемки грунта, а при положительном значении - высоте насыпи (смотри также пункт б). Длина отрезков (T_i, T_{i+1}) равна определенной выше константе d.*

1.2. Шаговая постановка задачи трассирования.

Нормативная база по геометрическим параметрам автомобильной дороги в поперечном профиле определяется через алгебраическую разность уклонов, измеряемую в промилле (обозначается символом ‰ и один промилле соответствует повышению автомобильной дороги в один метр на километр пути), также через радиусы круговых кривых. Алгебраическая разность продольного уклона для i-го отрезка трассы Tr (определение в предыдущем пункте 1) будет равна $((z_{i+1} - z_i) / d) * 1000$ ‰ (по пункту 4.20. СНиП 2.05.02-85 не может превышать 30‰).

Отметим, что здесь будет использоваться (кроме углов поворота) алгебраическая разность поворотов в горизонтальной и вертикальной плоскостях отрезка текущего шага проектирования относительно предыдущего отрезка. Ограничения на радиусы круговых кривых и длину переходных кривых будут переформулированы (что достаточно очевидно) на возможные величины углов поворотов и алгебраические разности поворотов в горизонтальной и вертикальной плоскостях отрезка текущего шага проектирования относительно предыдущего отрезка.

Трассе Tr (определение в предыдущем пункте 1) сопоставим функцию $f_{Tr} : [0,n] \to R^2$, где $f_{Tr}(i) = (a, b)$, если a – угол (в радианах) проекции вектора (T_i, T_{i+1}) на горизонтальную плоскость относительно оси координат X; b – угол (в радианах) проекции вектора (T_i, T_{i+1}) на вертикальную плоскость относительно оси координат Z (возможно прямое определение: $b = arcsin((z_{i+1} - z_i) / d)$), R – множество действительных чисел.

Функция шагового трассирования, заданная углами поворотов, $f_{St} : [0,n] \to R^2$, где $f_{St}(0) = f_{Tr}(0)$; для $i > 0$ значение функции вычисляется формулой $f_{St}(i) = f_{Tr}(i) - f_{Tr}(i-1)$. Более точно, пусть $f_{Tr}(i) = (a_1, b_1)$, $f_{Tr}(i-1) = (a_2, b_2)$. Тогда $f_{St}(i) = (a_1 - a_2, b_1 - b_2)$.

Для некоторых случаев будем использовать функцию шагового трассирования, заданную алгебраическими разностями поворотов, $f_{Alg} : [0,n] \to R^2$, если $f_{Alg}(i) = (a, b)$, $f_{St}(i) = (c, e)$, то $a = (\sin(c) / d) * 1000$; $b = (\sin(e) / d) * 1000$.

2. Формализация ограничений по геометрическим параметрам трассы.

Замечание 2. *Категорию трассы и характер местности в данном случае можно не учитывать, так как это не имеет принципиального значения для выбранного уровня детализации задачи. С математической точки зрения, достаточно определить соответствующие константы, как функции от категории трассы и характера местности.*

При формализации будет использоваться как прямая, так и шаговая постановка задач трассирования.

Предполагаем, что рельеф задан измерениями высот на нерегулярной сетке и имеется аппроксимирующая функция $z = f_{Ap}(x, y)$ (заданная, например, через триангуляцию Делоне).

1. Пусть d_z — допустимая глубина выемки грунта для улучшения геометрических параметров трассы. Тогда для любого i выполняется $f_{Ap}(T_i) - z_i < d\_z$ (используется прямая постановка задачи трассирования из предыдущего пункта *a)*).

2. Пусть h_z — допустимая высота насыпи для улучшения геометрических параметров трассы. Тогда для любого i выполняется $z_i - f_{Ap}(T_i) < h\_z$ (используется прямая постановка задачи трассирования из предыдущего пункта *a)*).

3. Пусть A_g — минимальный угол поворота шага трассирования в горизонтальной плоскости (в плане), являющийся параметром перебора при проектировании. Тогда для любого i выполняется, если $f_{St}(i) = (c, e)$, то c кратно A_g.

Замечание 3. *В дальнейшем данный факт позволит «попасть» в условия применения методов распознавания ситуаций [4]. Отметим, что минимальный угол поворота шага трассирования A_g применим для калибровки действительных чисел и позволяет перейти к целочисленной постановке задачи (используется шаговая постановка задачи трассирования из предыдущего пункта а)).*

4. Пусть A_h — минимальный угол поворота шага трассирования в вертикальной плоскости (в профиле), являющийся параметром перебора при проектировании. Тогда для любого i выполняется, если $f_{St}(i) = (c, e)$, то e кратно A_h (используется шаговая постановка задачи трассирования из предыдущего пункта *a)*).

5. Пусть Rg — минимальный радиус кривых в горизонтальной плоскости (в плане). Сопоставим Rg алгебраическую разность Ag поворота связных (рядом стоящих) отрезков длины d, откладываемых на окружности радиуса Rg. Тогда Ag является максимумом значения модуля функции f_{Alg} по первой координате (используется шаговая постановка задачи трассирования из предыдущего пункта *a)* для шаговой функции, заданной через алгебраическую разность).

6. Пусть Rh — минимальный радиус кривых в вертикальной плоскости (в профиле). Сопоставим Rh алгебраическую разность Ah поворота связных (рядом стоящих) отрезков длины d, откладываемых на окружности радиуса Rh. Тогда Ah является максимумом значения модуля функции f_{Alg} по второй координате (используется шаговая постановка задачи трассирования из предыдущего пункта *a)* для шаговой функции, заданной через алгебраическую разность).

7. Важным ограничением является минимальная длина переходной кривой, являющаяся функцией от радиуса примыкающей круговой кривой. Как указывалось выше, переходная кривая является отрезком клотоиды, которую в настоящей работе будем моделировать участком трассы, состоящим из отрезков, алгебраическая разность поворотов между которыми в горизонтальной (вертикальной) плоскости, составляет арифметическую прогрессию от нуля (соответствующий отрезок примыкает к отрезку прямой) до алгебраической разности Ag поворота рядом стоящих отрезков начала круговой кривой в горизонтальной (соответственно, вертикальной) плоскости. Общее число членов арифметической прогрессии больше или равно минимальной длины переходной кривой, деленной на длину минимального шага d.

Дадим строгое математическое определение этого ограничения для плана (горизонтальная плоскость), для профиля (вертикальная плоскость) определение будет аналогичным (но по второму аргументу функции f_{Alg}).

Пусть $f_{MinP}: R \to R$ ступенчатая функция, определяющая минимальную длину переходной кривой по радиусу примыкающей круговой кривой (например, представляющая таблицу 11 пункта 4.22. СНиП 2.05.02-85, приведенную выше). Для удобства (уменьшения громоздкости дальнейшей формализации) будем считать, что ступенчатая функция f_{MinP} использует в качестве аргумента алгебраические разности Ag поворота рядом стоящих отрезков круговой кривой. Пусть также трасса представлена шаговой функцией $f_{Alg} : [0,n] \to R^2$ и отрезок $[l,k]$ соответствует переходной кривой (от круговой кривой к прямому участку). Для упрощения обозначений будем использовать проекции функции f_{Alg} на горизонтальную f^1_{Alg} и вертикальную f^2_{Alg} плоскости, т.е., если $f_{Alg}(i) = (c, e)$, то $f^1_{Alg}(i) = c$; $f^2_{Alg}(i) = e$.

Тогда должны быть выполнены следующие три условия:

а) $f^{1}_{Alg}(l\text{-}1) = f^{1}_{Alg}(l) + f^{1}_{Alg}(k)$; $f^{1}_{Alg}(k+1) = 0$, т.е. *l-1*-ый отрезок расположен на круговой кривой, а 1-ый отрезок переходной кривой имеет меньший угол поворота от предыдущего на шаг арифметической прогрессии, равный $f^{l}_{Alg}(k)$, далее, *k+1*-ый отрезок является началом прямого участка.

б) Для любого i из отрезка *[l,k]* выполнено $f^{l}_{Alg}(i) + f^{i}_{Alg}(k) = f^{l}_{Alg}(l\text{-}1)$, т.е. значения шаговой функции f^{l}_{Alg} образуют арифметическую прогрессию на отрезоке *[l,k].*

в) Выполняется $k - l >= f_{MinP}(f^{l}_{Alg}(l\text{-}1)) / d$.

Замечание 4. *Приведенные в пункте 7 условия а), б) и в) являются основой для использования логико-эвристических методов распознавания ситуаций [4], а именно для формирования классов ситуаций (кластеров).*

8. Пусть *Amax* — максимальный угол (измеряется в промилле) подъема (спуска) для трассы (ограничения на продольный профиль трассы). Тогда для любого *i*-го отрезка трассы *Tr* (прямое определение задачи трассирования)

$((z_{i+1} - z_i) / d) * 1000 < Amax.$

Остановимся на этом уровне формализации задачи трассирования. Среди важных неформализованных условий отметим следующие.

а) Запретные зоны $Zon_1, ..., Zon_k$, заданные контурами (замкнутыми прямоугольниками), т.е. $Zon_j = \{ (A_i, A_{i+1}) \mid i = 0,n+1$; *1-ый отрезок* (A_0, A_1); *последний отрезок* $(A_n, A_0)\}$.

Замечание 5. *Рассматриваемая ниже стратегия поиска трассы, будет использовать (в качестве одной из многих) следующую эвристику. Если запретная зона Zon из текущей точки поиска «заслоняет» целевую точку, то запретным для трассирования является сектор, из которого нельзя выйти без пересечения с запретной зоной по окружности минимального допустимого радиуса Rg (пункт* 6*). Для решения данного вопроса необходимы две функции определения:*

- расстояния до запретной зоны , *rge a — точка прямоугольной области;*
- сектора обзора *запретной зоны Zon.*

б) Зоны обязательного прохождения (включая альтернативные варианты, например, для прохождения водных и других преград).

в) Учет областей с определенными параметрами (кадастр, грунты и др.), которые накладывают ограничения на глубину выемки и высоту насыпки грунта, стоимость отчуждаемой под строительство земли и др.

г) Дислокация карьеров и месторождений строительных материалов (имеет важное значение при решении задачи оптимизации значения целевой функции, также как участки выемки или насыпки грунта).

3. Логико-эвристические методы распознавания ситуаций в задаче трассирования.

Шаговая постановка задачи трассирования, как отмечалось выше, позволяет применить логико-эвристические методы распознавания ситуаций, которые проверяют соответствие отрезков проектируемой трассы одному из заранее определенных эталонов.

Теорема 1 [4]**.** Верхняя граница сложности проверки принадлежности ситуации (a_1, ..., a_n) классам ситуаций (кластерам) μ_1, ..., μ_m не превышает n.

При адаптации данного подхода к задаче трассирования показатели $\mathbf{x}_1$, ..., $\mathbf{x}_n$, задающие ситуацию, будут интерпретироваться как последовательные шаги проектирования, значения показателей — целочисленные, неотрицательные числа (смотри, замечание 3), ограниченные сверху (меньшие или равные частному от деления алгебраической разности поворота отрезков по круговой кривой минимального радиуса на алгебраическую разность, соответствующую минимальному углу поворота *A_g*).

Классы ситуаций будут формироваться из ограничений, определенных в пункте 7 условия а), б) и в) (смотри, также замечание 4). Алгоритмическая сложность применения логико-эвристических методов распознавания ситуаций в задаче трассирования будет несколько более высокой из-за необходимости ряда процедурных поддержек, связанных со следующим:

а) проверкой максимального количества шагов отрезков трассы определенных типов (круговая кривая, переходная кривая, отрезок прямой);

б) нормы проектирования, например, таблица 10 СНиП 2.05.02-85 [12], определяют ступенчатые функции (смотри пункт 7), следовательно, значения показателей должны быть парой чисел (минимальное и максимальное значение);

в) необходимости проверки выполнимости ограничений в плане и профиле.

Классы ситуаций μ_1, ..., μ_m строятся для следующих конкретных случаев:

а) прямые участки минимальной длины (300 м, пункт 4.35 СНиП 2.05.02-85 [12], по таблице 15 максимальная длина прямого участка ограничена 5000м), т.е. при шаге в 1 м требуется 300 показателей ситуаций (значения показателей будут равны нулю и это всего один класс ситуаций);

б) переходные кривые минимальной длины (от 30 до 120м, таблица 11 СНиП 2.05.02-85 [12])), т.е. при шаге в 1 м требуется 120 показателей ситуаций (значения показателей будут составлять арифметическую прогрессию и всего будет тринадцать классов ситуаций);

в) круговые кривые минимальной длины (от 8 градусов поворота, пункт 4.34 СНиП 2.05.02-85 [12]), т.е. при шаге в 1 м требуется не более 200 показателей ситуаций (значения показателей будут равными и всего будет тринадцать классов ситуаций);

г) прямые участки минимальной длины с примыканием в начале и конце одного шага переходной кривой (тринадцать в квадрате классов ситуаций);

д) переходные кривые минимальной длины с примыканием в начале и конце одного шага, соответственно, прямого участка и круговой кривой (всего будет двадцать шесть классов ситуаций);

е) круговые кривые минимальной длины с примыканием в начале и конце одного шага переходной кривой (всего будет тринадцать классов ситуаций).

Теорема 2. Пусть функция шагового трассирования, заданная алгебраическими разностями поворотов, $f_{Alg} : [0,n] \to R^2$, имеет k участков различных типов (прямые, переходные и круговые кривые). Тогда верхняя граница сложности проверки удовлетворения данной функции геометрическим ограничениям, заданными классами ситуаций (кластерам) μ_1, ..., μ_m не превышает $2 * 9 * 10^4 * k$.

Доказательство. Достаточно проверять на удовлетворение геометрическим ограничениям k участков трассы данного типа с примыканиями в начале и конце одного шага трассы другого типа, причем это надо делать в плане и профиле. Таким образом, получаем $2 * k$ случаев. Проверка каждого случая соответствует условиям теоремы 1 при n равном 300 (смотри, пункт а) определения классов ситуаций μ_1, ..., μ_m).

Теорема доказана.

Замечание 6. *Реальный алгоритм построения трассы, конечно, не предполагает включение проверки ограничений после построения значительной ее части, как это можно понять из формулировки теоремы 2. Проверка ограничений при построении трассы работает по схеме «демонов», т.е. включается при выборе каждого следующего шага. Но тем не менее, прямое применение результатов теоремы 2 возможно в случае эскизного проектирования трассы на цифровой топооснове человеком.*

4. Оптимизация переборов на основе логико-эвристических методов распознавания ситуаций.

При данном подходе [1] (и в методе удовлетворения ограничениям [5] тоже) явно выделяются следующие типы данных, структуры управления решением и базовые алгоритмы, обеспечивающие оптимизацию неизбежных переборов:

1) данные, представляющие объекты планирования и их ресурсы;

2) структуры управления, фиксирующие траекторию решения и обеспечивающие откат назад на любой шаг решения (т.е. обеспечивающие полное восстановление среды точки возврата);

3) алгоритмы проверки выполнимости ограничений на каждом шаге решения (демоны);

4) алгоритмы восстановления среды точки возврата;

5) алгоритмы сдвига в выборе следующего элемента ресурса;

6) алгоритмы распознавания тупика (стратегии «Смотри вперед») и определения точки возврата (обеспечивают глубокий возврат).

7) алгоритмы редактирования шагов решения между тупиковой точкой и точкой возврата (обеспечивает глубокий возврат без полного восстановления среды точки возврата).

Решения по обеспечению пунктов 1), 3), 5) обсуждались выше. Пункты 2), 4) и 7) здесь рассматриваться не будут, так как требуют гораздо большей детализации решения задачи, вплоть до представления данных для программирования (система таблиц реляционной базы данных, классы объектов для данных, структур управления и прочее), хотя стоит от-

метить, что для рассматриваемой задачи представление данных позволяет ряд технических проблем решать весьма просто, так как здесь нет переменных с вектором состояний (например, преподавателей, которым надо спроектировать много занятий).

Рассмотрим обеспечение пункта 6) оптимизации переборов. Стратегия «Смотри вперед» эффективно (и естественно) обеспечивается при выборе шага, меняющего тип отрезка (при переходе от круговой кривой к переходной и т.д.). В этом случае попадаем в какой-то конкретный класс ситуаций из $\mu_1, ..., \mu_m$, определяющий некоторое минимально необходимое число шагов. Следовательно, весь этот участок трассы должен быть проверен на удовлетворение ограничениям по рельефу, отсутствие запретных зон и др.

Алгоритмическая сложность определения конкретного класса ситуаций минимальна и ею можно пренебречь. Несколько более сложен вопрос продолжения участка трассы, не меняя его тип (после достижения минимума шагов). Прежде всего отметим, что этот вопрос не касается переходных кривых, для прямых участков предлагается пользоваться эвристикой близости направления прямой к градиенту приближения к цели. Если направление прямой почти совпадает с градиентом приближения к цели, то прямой участок можно продолжать до максимума шагов (либо до тех пор, когда градиент приближения к цели существенно разойдется с направлением прямой). Для продолжения круговой кривой также предлагается пользоваться эвристикой близости направления касательной для круговой кривой к градиенту приближения к цели.

5. Представление элементов трассы в реляционных СУБД.

Для представления элементов трассы может быть использована возможность увеличения количества атрибутов объектов, описывающих элемент. В первую очередь это обусловлено типизацией пространственных характеристик как атрибутивных. Вполне естественно, что различные объекты могут иметь различное количество атрибутов. Выходом из сложившейся ситуации является подход, когда каждой атрибутивной характеристике соответствует только одна запись. В этом случае может использоваться табл. 1.

Единственной технической сложностью реализации такого представления данных, является хранение значения атрибута, поскольку разные атрибуты могут быть представлены различными типами данных. Можно предложить несколько возможных вариантов решения проблемы. Например, использовать в качестве типа данных поля [VAL] тип BINARY, или создать в таблице поля, соответствующие всем возможным используемым типам данных (фактически расщепление поля [VAL] на [VAL_INTEGER], [VAL_ DOUBLE], [VAL_STRING], [VAL_ DATA], [VAL_ BINARY] и т.д.). Корректность информации, помещаемой в базу данных, может в этом случае обеспечиваться программным обеспечением. Существует возможность простого преобразования таблицы подобной структуры в "традиционный" вариант. Для этого достаточно в названии или комментарии к полям "классической" таблицы указывать иерархический классификатор данных (HDC) (табл. 2).

Сама возможность таких преобразований данных чрезвычайно важна, поскольку позволяет использовать стандартные, традиционные методы построения форм и отчетов, базирующихся именно на "классическом" представлении данных [5,7,8].

Определим основные таблицы базы данных для описания цифровой модели трассы дороги:

1. таблица классификатор данных;
2. таблица идентификаторов элементов, образующих трассу;
3. таблица, хранящая описание атрибутов элементов в иерархическом виде;
4. таблица классификатор иерархии для таблицы атрибутов (Табл. 3).

Таблица 1

Данные атрибутов объектов

HOI	HDC	DATA	VAL		
0104	050723	11.12.1999	27		
0104	050721	08.11.1999			45.5
0104	096782	21.10.1999		Текст	
0105	050723	15.10.1999	97		

где **HOI** - Hierarchy Object Identification (Иерархический идентификатор объект
HDC - Hierarchy Data Classification (Иерархический классификатор данных)
DATA - Дата/Время внесения характеристики
VAL - Величина

Таблица 2

Сравнение типов данных

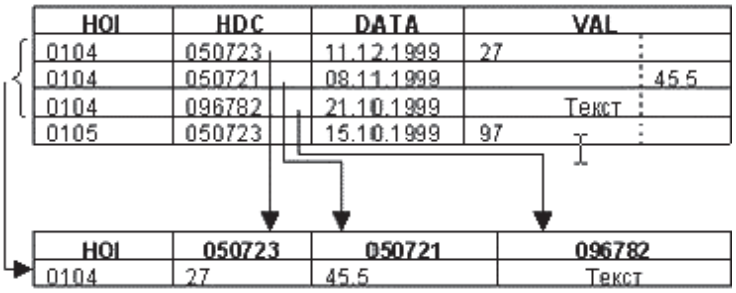


Таблица 3

Основная таблица атрибутов

HOI	**HDC**	DATA	VAL
01	0101	00.00.0000	130.768
01	0102	00.00.0000	186.009
01	0103	00.00.0000	9.000
01	0104	00.00.0000	415.000

Такая структура позволяет создавать цифровую модель трассы с неограниченным количеством атрибутов элементов.

Для примера опишем структуру данных для элемента переходная кривая.

В таблице 4 приведены для примера переменный Length — длина переходной кривой, Ang1 — угол входа в кривую, Ang2 — угол выхода из кривой, Radius1 — радиус на входе.

Таблица 4

Данные для расчета параметров переходной кривой

HDC	**TITLE**
0101	Length
0102	Ang1
0103	Ang2
0104	Radius1

6. Построение цифровой модели трассы автомобильной дороги по данным видеопаспортизации.

Данный подход позволяет проводить аналитический анализ по состоянию сети автомобильных дорог, в частности, приведен фрагмент схематического плана трассы автодороги дороги (Табл. 5.) и технологическая карта россыпи ПГМ (Табл. 6.).

7. Заключение.

По результатам работы следует ряд выводов.

1.Шаговая постановка задачи трассирования.

2.Формализация ограничений для геометрических параметров трассы.

3.Оценки сложности проверки выполнимости ограничений для геометрических параметров трассы.

Таблица 5

Схематический план из отчета для а/д "Иркутск-Листвянка"

Участок	Начало, км+м	Конец, км+м	Длина, м	Радиус, м	СНИП 2.05.02-85
Прямая вставка	8 + 000	14 + 308	6308		
Переходная кривая левого поворота	14 + 308	14 + 378	70		
Круговая кривая	14 + 378	14 + 510	132	-540	Недопустимое значение
Переходная кривая левого поворота	14 + 510	14 + 598	88		
Прямая вставка	14 + 598	15 + 792	1194		
Переходная кривая правого поворота	15 + 792	15 + 828	36		
Круговая кривая	15 + 828	15 + 948	120	520	Недопустимое значение
Переходная кривая правого поворота	15 + 948	16 + 000	52		

Таблица 6

Технологическая карта россыпи противогололедного материала 2006 г. для а/д Усть-Ордынский-Качуг

Место загрузки ПГМ	Общая протяженность участка	№ п/п	Места обработки ПГМ			Норма расхода ПГМ на 1000м2	Расход материала
				длина участка	S участка		
	км		Тип участка	м	м2	м3	м3
1	2	3	4	5	6	7	8
			автобусная остановка 19 шт.	541	3567	0.15	0.539
на 257250 км. АБЗ Калужского р-на			крутой поворот 20 шт.	4569	32183	0.15	4.827
			уклон 2 шт.	658	4606	0.15	0.691
			прилипание 49 шт.	1982	12194	0.15	1.824
			пешеходный переход 7 шт.	40	280	0.15	0.041
				7790	**52830**		**7.922**
ВСЕГО				**7790**	**52830**		**7.922**

4.Методическая проработка вопросов оптимизации переборов для шаговой постановки задачи трассирования.

5.Представление элементов трассы в реляционных СУБД.

6.Построение цифровой модели трассы автомобильной дороги по данным видеопаспортизации.

Работа написана в раздельном соавторстве, где Мартьянову В.И. принадлежат методы проектирования трассы автомобильной дороги, а Симонову А.С. — построение цифровой модели трассы автомобильной дороги по данным дорожной видеолаборатории, включая схематический план, а также методы и алгоритмы построения базы данных элементов трассы автомобильной дороги.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Мартьянов, В. И. Теоретический и реализационный аспекты некоторых классов задач сетевого управления [Текст] / Мартьянов В. И, .Вяткин И. В., Могильницкий Э. Ю. // Проблемы управления и моделирования в сложных системах : тр. Междунар. конф. — Самара, 1999. — С. 203 — 208.
2. Мартьянов, В. И. Теоретический и реализационный аспекты некоторых классов задач сетевого управления [Текст] / В. И. Мартьянов // Проблемы управления и моделирования в сложных системах : тр. Международ. конф. — Самара, 1999. — С. 203 — 208.
3. Александров, С. Г. Применение системы АДТ для решения задач сетевого планирования [Текст] / С. Г. Александров, В. И. Мартьянов // Интеллектуализация программных средств. — Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1990. — С.160 — 168.
4. Мартьянов, В. И. Планирование информационных потоков в иерархической системе [Текст] / Мартьянов В. И., Сухорутченко В. В., Окунцов В. В. // Прикладные системы. ИАП РАН. — М., 1992. — С. 46 — 58.
5. Мартьянов, В. И. Применение логики для решения задач реального времени [Текст] / В. И. Мартьянов // Логика и семантическое программирование. — Новосибирск, 1992. — Вып.146 : Вычислительные системы. — С.170 — 173.
6. Hentenrick, van P. Constraint Satisfaction in Logic Programming [Text] / Hentenrick van P. — Cambrige : The MIT Press., 1989. — 356 p.
7. Лорьер, А. Системы искусственного интеллекта [Текст] / А. Лорьер. — М. : Мир, 1993. — 380 с.
8. СНиП 2.05.02-85. Автомобильные дороги [Текст]. — М. : РосАвтоДор, 1997.

Дамбаев Ж. Г., Гришко Д. В.

УДК 621.865.8.001

РЕШЕНИЕ ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ ГЕОМЕТРИИ МЕХАНИЗМОВ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ С ПОМОЩЬЮ АЛГЕБРЫ ВИНТОВ (МОТОРОВ)

Винт представляет собой комплекс, состоящий из векторной и моментной частей $\Phi \equiv \left(r, r^o\right) \equiv \left(x, y, z, x^o, y^o, z^o\right)$. Причем Ф является винтом только в случае коллинеарности r и r^o, иначе, в общем случае, Ф является мотором, таким образом винт - частный случай мотора[1,2,3].

Механическое значение винта двоякое: кинематическое и силовое.

Во-первых, наиболее общий случай конечного перемещения твердого тела в пространстве реализуется при винтовом движении, которое характеризуется осью, углом поворота вокруг этой оси и поступательным перемещением параллельно этой оси. Если перемещения — бесконечно малые, то соответствующий винт называется кинематическим винтом. Если перемещение — бесконечно малое, то, отнеся его к бесконечно малому промежутку времени, получается мгновенный винт скоростей, вектор которого - угловая скорость, а момент — поступательная скорость тела. Скорость любой точки тела есть момент винта относительно этой точки. При этом возможны «конечные» (т. е. большие) винтовые движения тела, а также изображающие их винты, которые нельзя складывать и вычитать, если они совершаются относительно различных осей.

Во-вторых, наиболее общая система сил, действующих на тело, может быть приведена к силовому винту по правилам приведения системы несвободных векторов, если векторы изображают силы. Сумма всех сил есть вектор винта, а момент системы сил относительно какой-нибудь точки пространства есть момент эквивалентного винта относительно этой точки.

Рассмотрим возможности приложения алгебры винтов к теории рассматриваемых механизмов.

Пусть для механизма с несколькими соединительными кинематическими цепями (рис. 1.) нужно решить прямую задачу о положениях. Сначала нужно задать некоторое начальное положение механизма, при котором известны как обобщенные координаты выходного звена, так и абсолютные координаты шарниров. Затем, давая малые конечные приращения обобщенным координатам, необходимо найти малые конечные перемещения выходного звена. Новое положение принимается за начальное, и относительно него даются новые приращения, после чего расчет повторяется. Расчет ведется до тех пор, пока обобщенные координаты не достигнут заданных значений. Данный алгоритм сходится к точному решению, так как возникающее в ходе итераций виртуальное "движение" можно рассматривать как ломанную Эйлера для соответствующих систем дифференциальных уравнений.

Для примера можно обратиться к l-координатным механизмам, имеющим шесть соединительных цепей с одной поступательной приводной парой и двумя сферическими неприводными парами (рис.1, рис.2).

В данном случае требуется решить две задачи: определить малое пространственное перемещение твердого тела (выходного звена) из некоторого начального положения по малым приращениям l-координат и построить итерационную процедуру решения. Считая известным начальное положение тела в неподвижной базовой системе координат и начальные значения l -координат, определим кинематический винт $\Phi = \varphi + kS$, характеризующий элементарное перемещение тела при заданных элементарных приращениях $dl_1, \ldots, dl_6$ l-координат.

Здесь φ и S - вектор и момент винта, выражающие поворот и линейное перемещение; k - множитель Клиффорда.

Пусть $E_1,...,E_6$ - единичные орты, направленные по звеньям, соединяющим точки $A_1,...,A_6$ базы с точками $B_1,...,B_6$ тела (рис. 1).

Проекция момента искомого винта Φ, приведенного к точке B_i ($i = 1...6$), на орт E_i - будет равна относительному моменту E_i и Φ. Перемещение точки B_i, соответствующее винту Φ, характеризуется моментом винта Φ, приведенным к точке B_i. Следовательно, приращение dl_i равно относительному моменту E_i и Φ, и можно составить систему уравнений (1), коэффициентами которой являются плюккеровы координаты $x_i, y_i, z_i, x_i^o, y_i^o, z_i^o$ ортов E_i ($i = 1...6$) [1]:

$$\begin{cases} x_1^o x + y_1^o y + z_1^o z + x_1 x^o + y_1 y^o + z_1 z^o = dl_1, \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ x_6^o x + y_6^o y + z_6^o z + x_6 x^o + y_6 y^o + z_6 z^o = dl_6, \end{cases} \quad (1)$$

где x, y, z, x^o, y^o, z^o - плюккеровы координаты искомого винта Φ.

Из системы (1) получаем решение первой части задачи.

Рассматриваем решение второй части задачи для заданных значений l-координат l_i ($i = 1...6$). При это для ряда структурных схем эта задача решается аналитически. В общем случае требуется решение нелинейной системы уравнений. Далее реализуется итерационный способ («шаг за шагом»), требующий на каждом шаге рассмотрения линейной системы.

В начальный момент зададим некоторое начальное положение тела и определим для него значения l-координат $l_1'',...,l_6''$, где организуем виртуальное "движение" тела, состоящее из N малых шагов, каждый из которых соответствует малым приращениям l-координат Δl_i ($i = 1...6$). На каждом шаге определяем малый конечный кинематический винт $\Delta\Phi$. При этом используем системы уравнений (1), заменив в ней правые части на Δl_i ($i = 1...6$).

Зная $\Delta\Phi$, можно найти приращения декартовых координат точек $B_1,...,B_6$. Указанные приращения равны моментам винта $\Delta\Phi$ относительно этих точек. Таким образом, в конце каждого шага становится известным новое положение тела. Применив рассмотренную процедуру необходимое число раз, можно утверждать, что решена вторая часть поставленной задачи, причем для уменьшения ошибок вычислений требуется увеличение числа шагов.

Отметим, что может быть выбрана любая траектория "движения" тела из их бесконечного множества, соответствующего различным законам изменения l-координат. На определенном шаге может встретиться особое положение, при котором главный определитель системы уравнений (1) равен нулю. В качестве простейшего способа решения задачи в этом случае предлагается использовать алгоритм "движение по инерции", заключающийся в следующем.

При подходе к особому положению, когда определитель системы (1) становится меньше наперед заданного числа ε, даем телу "перемещения" по винту, соответствующему последнему шагу выполняемой процедуры. Определяя новое положение тела, находим определитель, составленный из плюккеровых координат ортов $E_1,...,E_6$, и делаем это до тех пор, пока определитель не станет больше ε. При этом констатируется, что в виртуальном движении тело "пришло" в новое положение, и уже из него, задавая соответствующие приращения l-координат, следует искать требуемое решение.

Рассмотрим пример использования итерационной процедуры (рис. 3.) - решение прямой задачи для тела-сферы радиусом 1 м, поло-

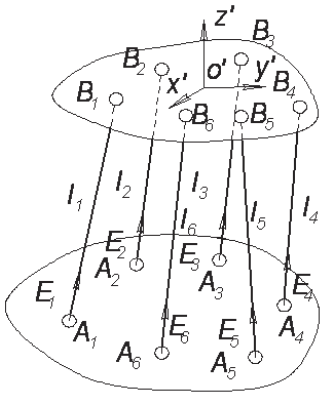


Рис.1. Механизм с несколькими соединительными кинематическими цепями

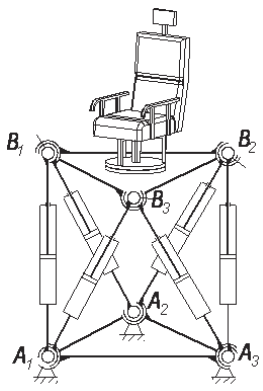


Рис.2. Кинематическая осесимметричная схема платформы Стюарта

жение в пространстве для которого определяется шестью расстояниями между точками $A_1,\ldots,A_6$ и $B_1,\ldots,B_6$, причем точки B_1 и B_4, B_2 и B_5, B_3 и B_6 попарно совпадают. (Здесь не показаны точки B_4, B_5, B_6).

В качестве начального принято положение (рис. 3.), при котором l_i =1м (i = 1...6), а плюккеровы координаты ортов $E_1,\ldots,E_6$ образуют матрицу

$$\begin{Vmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{Vmatrix}. \qquad (2)$$

Зададим конкретные численные данные. Для определения положения тела при приращении l_1 и l_4 на 0,1 м используем лишь одну итерацию.

Из системы (1), полагая $\Delta l_1 = \Delta l_4 = 0{,}1$ м, $\Delta l_2 = \Delta l_3 = \Delta l_5 = \Delta l_6 = 0$ находим плюккеровы координаты $\Delta \backslash d4$: $x = 0{,}05$ рад, $y = 0{,}05$ рад, $z = 0$; $x^o = 0{,}1$ м, $y^o = 0$, $z^o = 0{,}05$ м.

Орт оси вращения определяется первыми тремя координатами винта и равен $\left(\frac{x}{\sqrt{x^2+y^2+z^2}}, \frac{y}{\sqrt{x^2+y^2+z^2}}, \frac{z}{\sqrt{x^2+y^2+z^2}}\right)$, а угол, на который следует повернуть тело, определяется модулем вектора с координатами (x, y, z) и равен $\varphi = \sqrt{x^2+y^2+z^2}$. При этом линейное смещение будет определяться последними тремя координатами винта Φ, таким образом точка O переместится на 0,1 м по оси x и на 0,05 м по оси z, а тело повернется вокруг оси с направляющим вектором (0,707; 0,707; 0) на угол 0,0707 рад. Такое описание поворота является удобным при использовании в дальнейших расчетах кватернионов [4].

Приведя найденный винт $\Delta\Phi$ к точкам $B_1,\ldots,B_6$ находим их перемещения: точки B_1 и B_4 переместятся по осям x и z на 0,1 м, а точки B_2, B_3, B_5, B_6 - по оси x на 0,1 м.

Приведение осуществляется по формуле.

$$r^o_{M'} = r^o_M + \overline{MM'} \times r, \qquad (3)$$

где $\Phi = (r, r^o)$, r - векторная часть винта Φ, а l_2 - моментная часть винта Φ, приведенная к точке M, M и M' - начальная и конечная точки приведения моментной части винта Φ.

Вследствие малого, но конечного размера шага, имеет место невязка: по выполнении

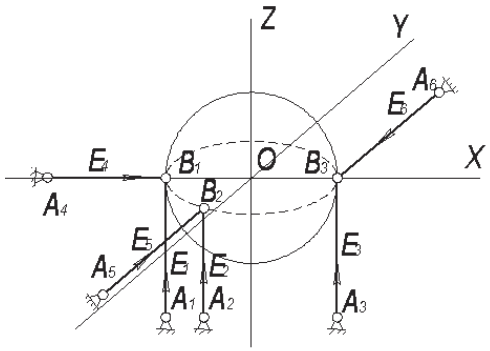


Рис. 3. Сфера, ограниченная шестью связями

процедуры значения l-координат будут отличаться от заданных. Невязки l_1 и l_4 равны 0,0045 м, а для l_2, l_3, l_5, l_6 они составляют 0,005 м таким образом, невязка составляет примерно 5% от величины шага.

Для механизма с параллельной структурой, отличной от l-координатной, приведенный алгоритм работоспособен, но должен быть дополнен определением силовых взаимных винтов вместо $E_1,\ldots,E_6$.[1]

Из решения прямой задачи геометрии механизмов параллельной структуры с помощью алгебры винтов (моторов) следует, что при постановке и решении задач механики параллельной структуры целесообразно использовать математический аппарат теории винтов и кватернионов, который до сих пор недостаточно применялся в робототехнике и позволяет единообразно описывать как силовые, так и кинематические характеристики рассматриваемых механизмов.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Глазунов, В. А. Пространственные механизмы параллельной структуры [Текст] / В.А. Глазунов, А. Ш. Колискор, А. Ф. Крайнев. — М. : Наука, 1991. — 95 с.
2. Диметенберг, Ф. М. Винтовое исчисление и его приложения в механике [Текст] / Ф. М. Диметенберг — М. : Наука, 1982. — 200 с.
3. Котельников, А. П. Винтовое счисление и некоторые приложения его к геометрии и механике [Текст] / А. П. Котельников. — 2-е изд. — М. : Комкнига, 2006. — 224 с. ISBN 5-484-00657-0.
4. Воробьев, Е. И. Пространственные шарнирные механизмы [Текст] / Е. И. Воробьев, Ф. М. Дименберг. — М. : Наука, 1991. — 264 с.

Данеев А.В., Русанов В.А., Удилов Т.В., Шарпинский Д.Ю. УДК 62-50

МЕТОДЫ ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ФРОНТА ЛЕСНОГО ПОЖАРА*

1. Интерактивная программная среда «РЕДИМ»: инструмент моделирования и краткосрочного прогнозирования распространения локального лесного пожара.

Накопленный опыт [2] в апостериорном моделировании *линейной* прогностической дифференциальной модели динамики распространения фронта лесного пожара (а так же диагностики пожарной опасности в специальных средах [3]) позволяет рекомендовать к практическому исследованию весьма сложные задачи по текущему краткосрочному прогнозированию развития контура ЛЛП в *нелинейной* постановке моделирования его дифференциальной динамики. И здесь, надо отметить, возникает ряд характерных особенностей, если считать, что динамика ЛЛП может быть представлена в классе систем (1) [1].

Во-первых, в качестве переменных фазового вектора состояния в дифференциальной модели развития ЛЛП должны выступать геометрические параметры контура пожара и отсутствовать их производные [1], что обусловлено общей диффузионной концепцией модели динамики распространения фронта ЛЛП.

Второй особенностью математического моделирования динамики нестационарного фронта ЛЛП является тот факт, что нелинейная дифференциальная модель (1) [1] распространения фронта каждого (конкретного) ЛЛП в силу своей физической «уникальности» лесных горючих материалов в зоне действия ЛЛП ставит постановку апостериорного моделирования развития контура ЛЛП как непрерывной *D*-системы (определения 1 [1]) с поведением, представленным лишь *одной* (!) функциональной парой «*траектория – x*, *управление – u*» (характеризацией ОКД-совместимости этой пары может служить теорема 1 [1]).

Третья особенность предъявляет (с точки зрения внешнего поведения развития ЛЛП как *D*-системы) обеспечение свойства: если $x = f(t)$ – решение системы (1) [1] дифференциальных уравнений состояния контура ЛЛП с $u(t) = const$, то $x = f^*(t) = f(t + c)$, где c – некоторая константа, также есть решение той же системы; что эквивалентно [4, с. 103] условию *автономности* $(A, B, B^{\#})$*-модели в динамике фронта ЛЛП (математическая характеризация этого положения* – теорема 3 [1]). Это свойство приводит к существенному упрощению задачи краткосрочного прогнозирования распространения фронта ЛЛП и повышению его надёжности (достоверности), что особенно важно в том случае, когда принятие решения по текущему прогнозу ЛЛП только частично должно осуществляться человеком-оператором (лицо, принимающее решение – ЛПР).

И, наконец, четвёртая особенность вызвана тем, что практическое решение вопросов апостериорного моделирования уравнений дифференциальной динамики реально наблюдаемого контура ЛЛП в классе систем (1) [1] вносит в этот процесс «элемент искусства», поскольку при формировании структурного классификатора (определение 2 [1] и теорема 4 [1]), по существу, начинают играть важную роль опыт ЛПР, его интуиция и содержательные соображения.

Для решения означенного круга задач апостериорного моделирования (в целях текущего прогнозирования) распространения фронта ЛЛП был разработан программный комплекс «РЕДИМ» (см. рис. 1 [1]), включающий в себя несколько специализированных модулей. Проектирование данной программной среды проводилось в предположении, что на неё будут возложены две основные ме-

* Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 05-01-00623) и Программы фундаментальных исследований № 22 Президиума РАН (проект № 2.5).

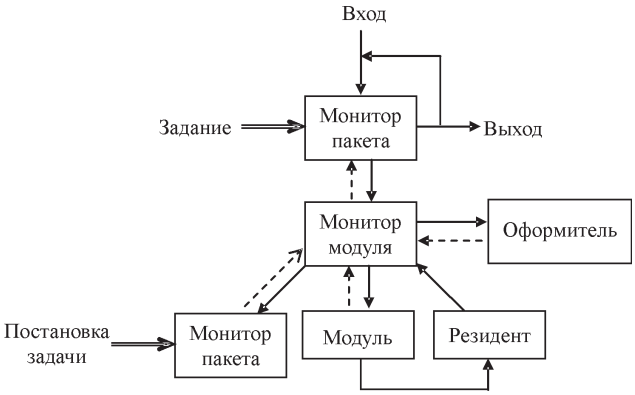


Рис. 1. Фрагмент архитектуры пакета «РЕДИМ».

тодологические цели проведения компьютерного моделирования ЛЛП:

– математическое обеспечение, воспроизводящее слабоструктурированные динамические свойства распространения фронта ЛЛП, моделируется на компьютере для порождения оперативных сценариев при различных предположениях относительно внутренней (параметры горючих материалов ЛЛП) и внешней (метеорологические условия) физической среды развития ЛЛП;

– открытие полезных физико-математических свойств, описывающих динамику распространения фронта ЛЛП, а также эмпирическая проверка выдвинутых относительно этой динамики гипотез и предположений.

Система (прикладной пакет) «РЕДИМ» реализована по модульному типу и состоит из: монитора пакета (МП), транслятора входного языка (ТВЯ), резидента пакета (РП) и библиотеки проблемных модулей (ПМ). Диалог с пользователем построен по «принципу меню», т.е. система после ввода общей директивы начинает запрашивать у ЛПР необходимую информацию, анализирует эту информацию (проверка целостности данных), указывает ЛПР на некоторые ошибки и, по возможности, подсказывает необходимые действия.

МП – вводит и обрабатывает задание пакету, составленное на языке предметных знаний, вызывает транслятор для ввода данных структурно- параметрической идентификации (СПИ) уравнений динамики ЛЛП, проводит предварительный структурный анализ поступившей задачи, выбирает автоматически алгоритм решения, если он не задан ЛПР, загружает нужные проблемные модули, реализующие выбранный алгоритм СПИ, и передаёт им управление. По окончании решения задачи МП вызывает одну из сервисных процедур – оформителей решения (согласно заданию), после чего может обработать новое задание.

ТВЯ – вводит информацию о задаче, оформленную на языке ее постановки, выявляет ошибки и выводит диагностику о них. В случае обнаружения ошибок во входной информации ТВЯ вырабатывает соответствующую команду, при появлении которой МП ставит задачу в режим интерактивной перезагрузки.

РП – предназначен для перехвата и обработки программных прерывателей, которые могут произойти в процессе решения задачи. В результате вмешательства РП происходит смена алгоритма решения (если это возможно) или отказ от неё с выводом диагностики. При смене алгоритма РП передаёт управление на МП, который выбирает новый алгоритм и производит перезагрузку.

ПМ – как автономная процедура может подразделяться на блоки, каждый из которых способен решать предметную задачу модуля определённого класса.

Фрагмент архитектуры пакета «РЕДИМ», для апостериорного моделирования динамики нестационарного фронта ЛЛП, схематизирован на рис. 1.

Библиотека проблемных модулей представляет следующие возможности:

ПМ-1 – цифровое моделирование зоны действия ЛЛП на основе триангуляции геодезической карты её рельефа;

ПМ-2 – имитационное моделирование развития контура ЛЛП в условиях различных «сценариев» стохастической карты пожарной опасности;

ПМ-3 – структурная идентификация модели динамики развития ЛЛП в классе стационарных квазилинейных дифференциальных уравнений;

ПМ-4 – параметрическая идентификация стационарных квазилинейных дифференциальных уравнений вектора состояния фронта ЛЛП;

ПМ-5 – анализ адекватности идентифицированной (в ПМ-3, ПМ-4) модели динамики контура ЛЛП и краткосрочное прогнозирование фронта пожара на основе численного интегрирования его уравнений состояния.

Проблемный модуль **ПМ-1** формирует «геометрический облик» поверхности рельефа в зоне действия ЛЛП на основе её геодезической карты и выполнен в качестве специализированной оболочки сопряжения с программной средой MATLAB [5]. Помимо обеспечения цифровой картосхемы района развития ЛЛП, данный модуль используется при коррекции карты (формируется в ПМ-2) скорости выгорания лесных горючих материалов ЛЛП, поскольку её параметры естественным образом зависят от величины солнечной радиации (угла потока солнечного света к поверхности ЛЛП), ориентации ЛЛП относительно вектора атмосферных возмущений (ветра) и т.п.

Проблемный модуль **ПМ-2** создаёт (численно имитирует) оперативную картосхему распространения пожара в лесном массиве. Данная картосхема моделируется графическим состоянием 46×64-прямоугольника Q, разбитого на 46·64 элементарных (неделимых) равновеликих квадратов q_{ij} ($i=1,...,46$ и $j=1,...,64$). Каждый квадрат q_{ij} характеризуется двумя динамическими параметрами, а именно, *цветом* (серый, жёлтый, светло-зелёный, зелёный, голубой, синий) и *числом* k ($k\in\{0, 1, 2, ...\}$). В исходном положении массива Q (до возникновения «очага» пожара) связь между цветом и числом k у любого q_{ij} определяется следующей взаимно однозначной зависимостью (взаимосвязью):

$$\begin{cases} \text{жёлтый} \Leftrightarrow k=k_1\ (k_1\neq 0); \\ \text{светло зелёный} \Leftrightarrow k=k_2\ (k_2>k_1); \\ \text{зелёный} \Leftrightarrow k=k_3\ (k_3>k_2); \\ \text{голубой} \Leftrightarrow k=k_4\ (k_4>k_3); \\ \text{синий} \Leftrightarrow k=k_5\ (k_5>k_4). \end{cases} \quad (1)$$

Замечание 1. Физический смысл числа k – это время (в минутах) выгорания лесного квадрата q_{ij}, если его поджечь (не путать k с идентификатором в таблице цветов графического оператора).

Замечание 2. Моделирование «поджога» («окрашивание» в красный цвет) каждого квадрата $q^{\star}$ происходит от соседнего с ним (слева-справа, сверху-снизу) элемента $q^{\#}$, имеющего с $q^{\star}$ общую сторону (!), причём в тот момент, когда элемент $q^{\#}$ полностью выгорел (приобрёл серый цвет).

Замечание 3. Элемент массива Q, имеющий серый цвет, всегда имеет число k равное 0.

Процесс моделирования распространения локального лесного пожара состоит в динамической «переокраске» элементов q_{ij} массива Q из некоторой исходной окраски (выбранной некоторым рациональным образом согласно (1); см. следующий пункт) в *красный* цвет (на этапе выгорания квадратов q_{ij}), а затем – в *серый* (фиксация состояния выгоревших квадратов q_{ij}).

Подготовка исходных данных. Исходное положение массива Q численно моделируется либо присвоением серого цвета «негорючим объектам» (дороги, водоёмы и т.п.), либо присваиванием, посредством датчика случайных чисел, некоторого начального распределения цветов, выбранных согласно правилу (1), для его элементов q_{ij} (соответственно чисел k согласно (1)).

В районе геометрического «центра» массива Q, фиксируется красным цветом начальный элемент пожара q_{ij} (очаг возгорания), при этом на данном шаге процедуры сохраняется число k отмеченного квадрата q_{ij}.

Задаётся (в минутах) интервал T – времени моделирования процесса ЛЛП.

Все элементы q массива Q линейно упорядочиваются по индексу n некоторым отношением порядка $<$ (т.е. $q_n<q_{n+1}$, $1\le n\le 46\cdot 64$).

Работа алгоритма. Если представить массив Q как 46×64-матрицу, то процедуру моделирования развития контура ЛЛП можно задать циклом длинны T (шаг Δt цикла соответствует 1 мин. времени процесса распространения пожара). На одном отдельном шаге $t+\Delta t\in T$ происходит одноразовая «раскраска» цветов (с перерасчётом чисел k) всех элементов матрицы Q_t в соответствии со следующим рекурсивным правилом:

– проверка потенциальной необходимости «текущей перекраски» элементов в динамическом массиве Q_t происходит последовательно от элемента q_n к элементу q_{n+1} (т.е. согласно упорядочения $<$);

– если q_n «окрашен» в цвет из (1) или является серым, то его цвет и число k остаются неизменными и происходит переход к проверке элемента q_{n+1};

– если элемент q_n при текущей проверке Q_t оказался «красным», то его число k уменьшается на единицу, и в случае $k\text{-}1>0$ осуществляется переход к следующему элементу q_{n+1}, если $k\text{-}1=0$, то (прежде чем перейти к q_{n+1})

цвет элемента q_n необходимо изменить на серый (указать, что он «выгорел»), при этом «поджечь» соседние с ним элементы, имеющие цвет (1) (и «поджечь» эти элементы в соответствии с правилом, изложенным в замечании 2);

– учёт влияния скорости ветра *v(t)* проводится делением чисел *k* на величину $(1,5^{-1}+v(t))(1,5+\cos\varphi)$, ($\varphi$ – угол между вектором скорости ветра и нормалью к фронту ЛЛП; в отсутствии ветра $\varphi=\pi/2$), влияние выпавших атмосферных осадков *g(t)* задаётся умножением (масштабированием) чисел *k* на *(1+g(t))*.

Выходная информация. Фиксация текущего ($t\in T$) состояния массива Q_t происходит через каждые 15 мин. в двух режимах – *автоматическом* (через таймер) и *интерактивном* (через клавишу Enter). При этом выводится: графическое изображение массива Q_t, число серых элементов из Q_t (текущая пиролизная площадь гари), число красных элементов из Q_t («эквивалент» величины периметра контура пожара).

Проблемный модуль **ПМ-3**. Функциональная задача модуля – по результатам текущего мониторинга за распространением фронта ЛЛП (выходные данные ПМ-2) выдвижение (эвристический поиск методом дифференциальной аппроксимации) и апробация структурных гипотез в аналитическом представлении позиционных законов при апостериорном моделировании уравнений динамики ЛЛП в классе нелинейных дифференциальных систем (4) [1].

Подготовка исходных данных. В качестве вектора состояния *x(t)* модели динамики локального лесного пожара выступает вектор его геометрических характеристик, поддающихся апостериорным наблюдениям на интервале времени *T* за процессом распространения фронта ЛЛП (результат моделирования ПМ-2). Данный вектор имеет следующие фазовые координаты:

$x_1(t)$ – текущее приращение на интервале *T* площади ЛЛП;

$x_2(t)$ – текущее приращение на интервале *T* длины периметра ЛЛП;

$x_i(t)$ – текущие приращения на интервале *T* удалений от заданной точки из зоны действия ЛЛП до кромки фронта пожара в направлениях выделенных пожароопасных объектов *i (i=3,...,n)*.

К переменным вектора возмущений *u(t)*, влияющих на динамику ЛЛП, отнесены следующие пирофорные и метеорологические факторы в зоне пожара:

$u_1(t)$ – фактор активности тлеющих продуктов пиролиза в контуре ЛЛП (моделируется функцией *1-sign(g(t))*);

$u_2(t)$ – скорость ветра в зоне действия ЛЛП (моделируется функцией *v(t)*);

$u_3(t)$ – количество атмосферных и искусственных (включая как эквивалент порошки) осадков, выпавших в зоне ЛЛП (моделируется функцией *g(t)*).

В ПМ-3 блок интерполяции приводит на интервале *T* функции *x(t)* и *u(t)* методом полиномиальной сплайновой аппроксимации к кусочно-многочленным функциям (непрерывным со всеми производными до заданного порядка [6]).

Работа алгоритма. Процедура структурной идентификации квазилинейных уравнений состояния ЛЛП организована в ПМ-3 в виде двух системных блоков. Первый блок служит целям гипотезирования нелинейных позиционных законов $u^{\#}(x)$ в структуре уравнений (4) [1] динамики ЛЛП и реализован в идеологии РЗС; с этой целью проводится (диалог МП-3 с ЛПР) эвристический поиск решения задачи дифференциальной аппроксимации с применением процедуры ортогонализации Грама-Шмидта (6) [1]. Второй системный блок исследует задачу экспертизы модели (аналитическая основа – теорема 3 [1]).

Выходная информация – аналитическое представление в классе квазилинейных СОДУ уравнений состояния (по существу – закона $u^{\#}(x(t))$) локального лесного пожара, заданного на интервале *T* апостериорным (имитационным) динамическим процессом – парой «*траектория ЛЛП, возмущение ЛЛП*», сформированной модулем ПМ-2.

Проблемный модуль **ПМ-4**. Задача ПМ-4 – идентификация параметров стационарной $(A,B,B^{\#})$-модели динамики ЛЛП: по текущим замерам (вычислениям в ПМ-3) на интервале времени *T* вектор-функции $\left(x(t),u(t),u^{\#}\left(x(t)\right)\right)\in R^{n+m+q}$, $t\in T$ определить численные значения элементов матриц *A, B* и $B^{\#}$ дифференциальной системы (4) [1] – уравнений состояния контура ЛЛП. В ПМ-4 решение данной задачи осуществлено в двух алгоритмических вариантах – I и II: в I реализован

метод производных (7) [1], II – модификация алгоритма, предложенч

Схема алгоритма II.

Пусть, $X_j := Mat\{x(t_0 + i\Delta T)\}_{j \le i \le j+n+m+q-1}$, $X_j^{\#} := Mat\left\{\int_{T_i} (x(t),u(t)),u^{\#}(x(t))dt\right\}_{j \le i \le j+n+m+q-1}$, $D := [A,B,B^{\#}], T_i := [t_0 + i\Delta T, t_0 + (i+1)\Delta T], j=0,1,2,...$ ($Mat\{...\}$ – матричная форма соответствующей системы векторов). Интегральная система, эквивалентная уравнению (4) [1], даёт матричное равенство $X_{j+1} - X_j = DX_j^{\#}$.

Если выполнены (для вектор-функции $(x(t),u(t),u^{\#}(x(t)) \in R^{n+m+q}, t \in T)$ условия единственности *(A,B,B#)*-модели (теорема 3 [1]), то программный модуль ПМ-4 использует следующий прямой вычислительный алгоритм идентификации матрицы *D* (модификация алгоритма параметрической идентификации из [7]):

$$D = (X_{j+1} - X_j)X_j^{\#^{-1}}; \qquad (2)$$

в случае, если условия единственности существования *(A,B,B#)*-модели нарушены, используется алгоритм нормального псевдорешения [8, с. 501].

Замечание 4. Стационарный характер динамики (4) [1] позволяет утверждать, что в реальных условиях проведения оперативного космомониторинга возникшего лесного пожара время прямого вычислительного алгоритма параметрической идентификации квазилинейной дифференциальной модели ЛЛП в принципе ограничено снизу лишь техническими возможностями используемой измерительной и вычислительной аппаратуры [9].

Проблемный модуль **ПМ-5** выполнен в качестве специализированной оболочки сопряжения с программной средой MATLAB и решает в ней свою функциональную задачу – анализ адекватности идентифицированной модели динамики развития лесного пожара и его краткосрочное прогнозирование (экстраполяция координат вектора состояния ЛЛП на основе численного интегрирования дифференциальной системы (4) [1], полученной в ПМ-4).

2. Анализ результатов моделирования уравнений динамики локального лесного пожара в вычислительной среде прикладных программ «РЕДИМ».

Апробация прикладного программно-математического обеспечения по апостериорному моделированию дифференциальной динамики локального лесного пожара и решению краткосрочной прогностической задачи его развития, реализованные в программном комплексе «РЕДИМ», бала проведена в ходе специально спланированных численных экспериментов. Каждый эксперимент, в соответствии с общей логикой решаемых задач, условно можно разделить на три исследовательских этапа (Этап I, Этап II, Этап III).

Этап I. В ходе данного этапа, с помощью модулей ПМ-1 и ПМ-2, на прямоугольнике $Q = 5 \times 7$ км^2 зоны действия локального лесного пожара моделировалась текущая (интервал времени $T = 10$ час.) имитационная «геометрическая картина» распространения контура ЛЛП; имитационное моделирование проводилось на основе сформированного датчиком случайных чисел стохастического поля скорости выгорания лесных горючих материалов (ЛГМ) в модели триангуляции района распространения ЛЛП. Вариант задания карты ЛГМ приведён на рис. 2; здесь раскраска карты осуществлена согласно (1), при этом минимальная и максимальная скорости выгорания V_{min}, V_{max} ([м^2/мин]) элементов $q_{ij} \subset Q$ соответствуют (обратно пропорционально) числам k_5 и k_1 из (1).

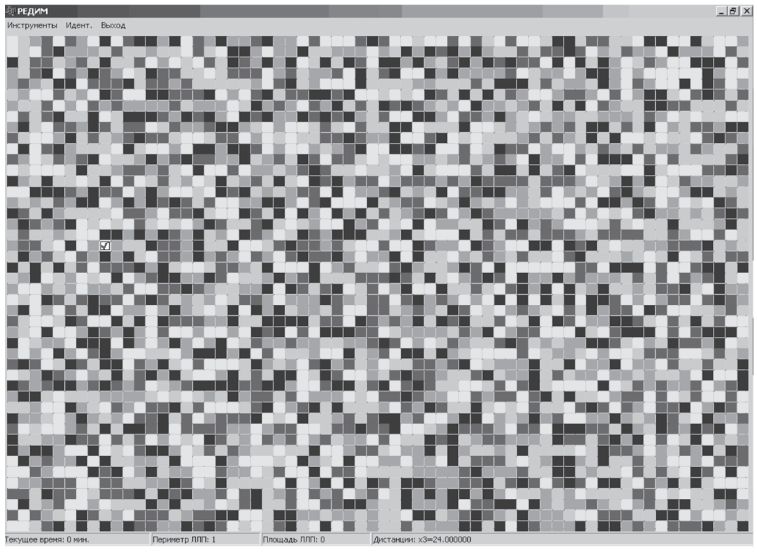


Рис. 2. Пример карты (5×7 км^2) стохастического поля скорости выгорания ЛГМ (красным квадратом отмечен очаг возгорания)

Для исходной цифровой карты выгорания ЛГМ – рис. 2 с вектором возмущений равным $u(t) = (1,0,0)$ отдельные

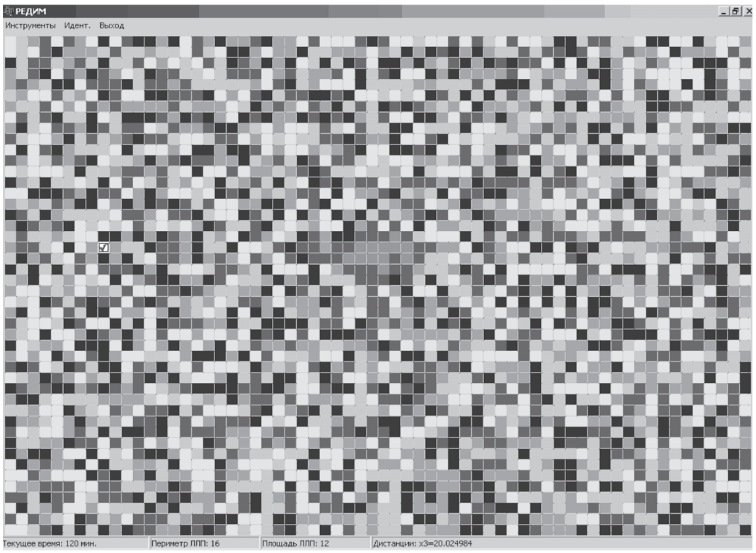


Рис. 3. Состояние контура ЛЛП на момент времени *t*=2 час

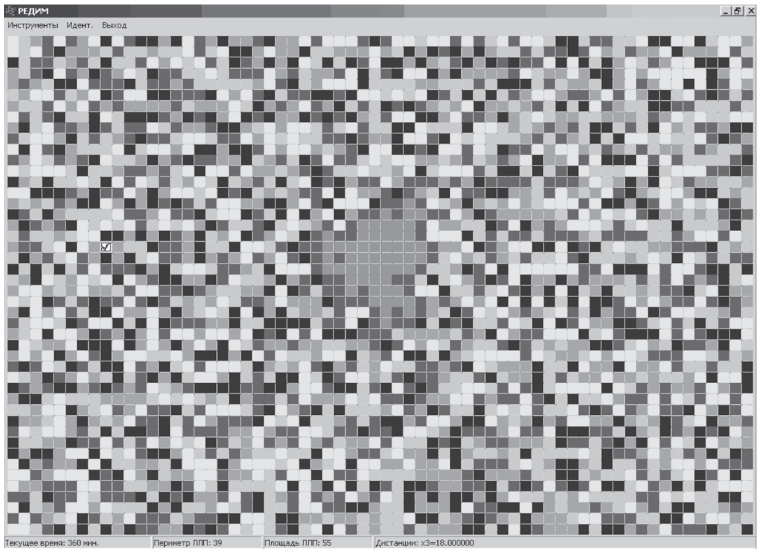


Рис. 4. Состояние контура ЛЛП на момент времени *t*=6 час

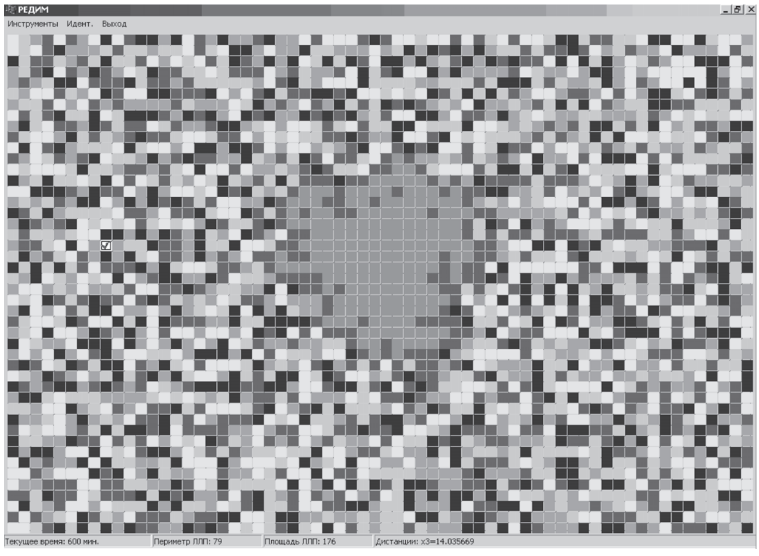


Рис. 5. Состояние контура ЛЛП на момент времени *t*=10 час

фрагменты графической картины продвижения фронта ЛЛП (работа модуля ПМ-2) приведены на рис. 3-5. К общим выводам Этапа I, имеющим прикладное значение, можно отнести следующие практические рекомендации в использовании программной среды «РЕДИМ»:

– геодезический рельеф района лесного пожара, моделируемый в ПМ-1, помимо решения задачи визуализации процесса распространения контура фронта ЛЛП может использоваться при планировании маршрута доставки и выбора места пожарного десанта;

– карта выгорания ЛГМ должна формироваться в зависимости от метеорологической обстановки и структуры лесного массива на основе оперативных данных космомониторинга района ЛЛП;

– в контексте численных экспериментов на базе модуля ПМ-2 представляют интерес общие требования к методикам проведения лабораторных и натурных экспериментов по определению параметров коэффициентов k из (1). Здесь, прежде всего, надо отметить, что для достоверности лабораторных экспериментальных результатов необходимо, чтобы имело место геометрическое подобие лабораторной модели реальному явлению и равенство безразмерных критериев подобия для модели и натуры. Известно, что для реальных процессов с химическими реакциями, к которым относятся и лесные пожары, полное физическое подобие аэротермохимических процессов удовлетворить невозможно. Поэтому целесообразно проводить эксперименты по физическому моделированию лесных пожаров в реальных условиях. В противном случае необходимо разработать и обосновывать специальные правила по переносу (пересчёту) результатов лабораторного эксперимента на реальных условиях.

Этап II. На данном этапе ставилась задача построения (в рамках модулей ПМ-3, ПМ-4) апостериорной модели дифференциальной динамики ЛЛП,

при этом исходным материалом служили результаты численного моделирования Этапа I. Первый шаг моделирования: выбор размерности модели (зависит от числа фиксированных пожароопасных направлений) и кусочно-многочленная интерполяция переменных вектора состояния ЛЛП.

Второй шаг моделирования Этапа II: вычисление на интервале времени T операторов Релея-Ритца в функциональной системе (5) [1] и эмпирическое построение нелинейной части динамики ЛЛП – позиционного закона $u^{\#}(x)=\left(u_1^{\#}(x_1),u_2^{\#}(x_2),u_3^{\#}(x_3)\right)$; т.е. поиск пользователем в диалоге с ПМ-3 аналитического представления функций $u_1^{\#}$, $u_2^{\#}$, $u_3^{\#}$ в соответствии методом монотонной аппроксимации [6] и структурным критерием гипотезирования – теорема 4 [1]. В качестве вспомогательных операторов Релея-Ритца (в функциональной системе (5) [1]) были взяты следующие конструкции:

$$\Psi^{\star}=\left(\left|dx_1(t)/dt\right|\right)+\left(\left|dx_2(t)/dt\right|\right)+$$
$$+\left(\left|dx_3(t)/dt\right|\right)\left(\max\left(\left|x_i\right|,1\le i\le 3\right)\right)^{-1};$$
$$\Psi_1{}^{\star}=\left(\left|dx_1(t)/dt\right|\right)\left(\max\left(\left|x_i\right|,1\le i\le 3\right)\right)^{-1};$$
$$\Psi_2{}^{\star}=\left(\left|dx_2(t)/dt\right|\right)\left(\max\left(\left|x_i\right|,1\le i\le 3\right)\right)^{-1}.$$

Поскольку координаты вектора состояния ЛЛП изменяются монотонно, то компоненты (6) [1] вектор-функции $h(\cdot)$, «ответственной» в методе дифференциальной аппроксимации за нелинейность уравнений динамики ЛЛП, несложно построить как вектор-функции $x_i \mapsto h(x_i), i=1,\ldots,3$.

Функциональное строение вектор-функций $x_i \mapsto h(x_i), i=1,\ldots,3$ позволяет (метод монотонной аппроксимации) осуществить структурный синтез $u^{\#}(x)$:

$$\begin{cases} u_1^{\#}(x_1)=x_1^{1/2}, \\ u_2^{\#}(x_2)=0, \quad , \\ u_3^{\#}(x_3)=0. \end{cases} \qquad (3)$$

Таким образом, основной методологический вывод Этапа II состоит в подтверждении (обоснованности гипотезы выбора нелинейной динамики ЛЛП) использования квазилинейной структуры уравнений дифференциальной динамики для апостериорного математического моделирования процесса развития нестационарного контура ЛЛП в условиях существенной анизотропии параметров выгорания ЛГМ в зоне действия лесного пожара.

Третий (завершающий) шаг моделирования Этапа II: идентификация матриц A, B и $B^{\#}$ дифференциальной системы (4) [1] (с позиционным законом $u^{\#}(x)$ вида (3)) либо методом производных (7) [1], либо согласно прямого вычислительного алгоритма (2). Вычислительная трудоёмкость (сложность) алгоритма (2) составляет $(n+m+q)^2\left(4(n+m+q)+1\right)$ элементарных операций; трудоёмкость алгоритма (2) можно оценить, полагая, что обращение матрицы $(n+m+q)$-го порядка требует $2(n+m+q)^3$ элементарных операций. Результат параметрической идентификации методом производных (7) [1] приведён ниже:

$$A=\begin{bmatrix} -0.0585 & 0.4192 & 1.5508 \\ 0.0304 & 0.1092 & 0.4835 \\ -0.0148 & 0.0030 & -0.0432 \end{bmatrix};\ B=\begin{bmatrix} -36.4227 \\ -8.3421 \\ 0.0694 \end{bmatrix};$$
$$B^{\#}=\begin{bmatrix} 0.1539 \\ -0.6042 \\ 0.1800 \end{bmatrix}. \qquad (4)$$

Этап III. Целью данного этапа была проверка эффективности синтезированной (в ПМ-3, ПМ-4) апостериорной модели дифференциальной динамики ЛЛП в решении прогностической задачи развития контура ЛЛП. В частности, для обсуждённого выше контрольного примера с помощью модуля ПМ-5 численно интегрировалась (методом Рунге-Кутта) квазилинейная дифференциальная система (4) [1] с позиционным законом (3) и идентифицированной $(A,B,B^{\#})$-моделью, представленной матрицами (4), после чего результат интегрирования (см. ниже траектории типа 2) подлежал качественному сравнению с имитационным эталоном (траектории типа 1), что иллюстрируют рис. 6-8. Основной результат этого анализа показывает, что дифференциальная прогностическая модель динамики контура ЛЛП, удовлетворяющая высокой точности оперативного прогноза фронта пожара, должна носить качественно нелинейный характер (см. закон (3)), при этом численные параметры матриц (4) существенно зависят как от исходной карты ЛГМ (рис. 2), так и от интервала идентификации.

Кроме того, как было отмечено выше в п. 1, программная среда «РЕДИМ» позволяет имитационно моделировать различные варианты влияния факторов погодных условий на

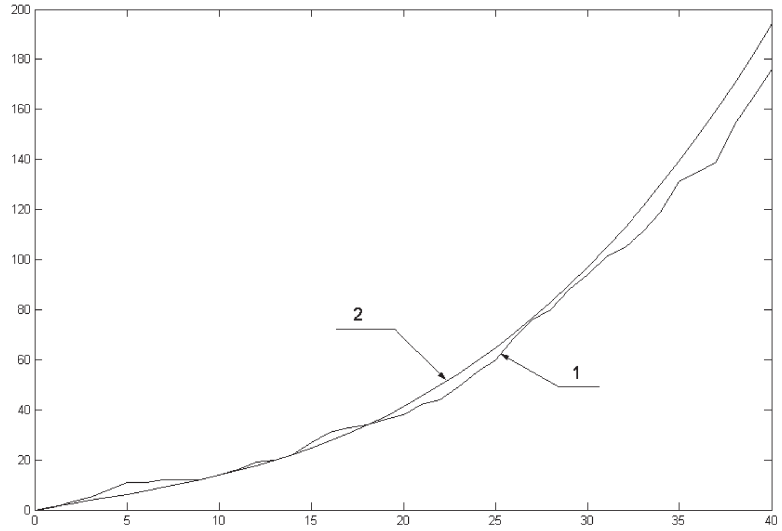


Рис. 6. Приращение площади гари ЛЛП (координата $x_1(t)$)

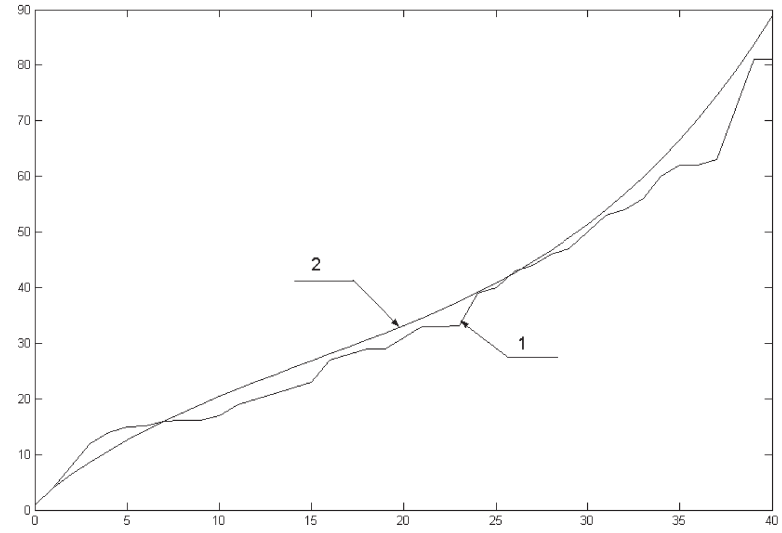


Рис. 7. Приращение периметра контура ЛЛП (координата $x_2(t)$)

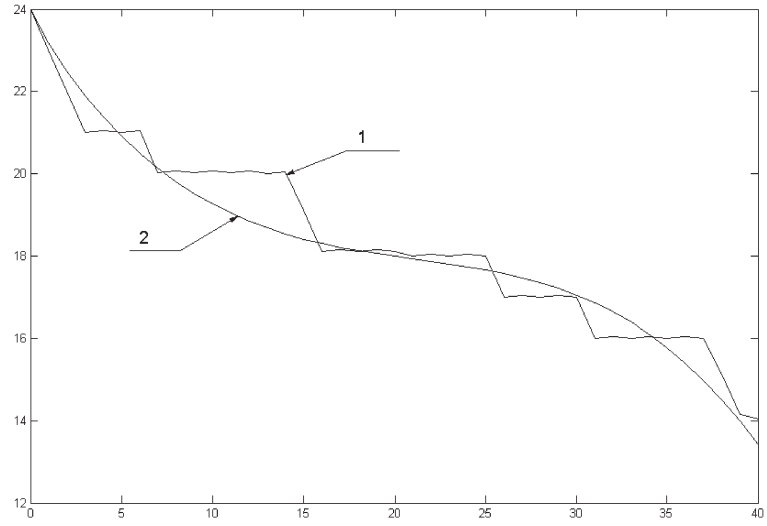


Рис. 8. Отстояние фронта ЛЛП от заданной точки вне контура пожара (координата $x_3(t)$)

процесс распространения фронта ЛЛП, что, в конечном итоге, подтверждает функциональную работоспособность разработанного программного комплекса «РЕДИМ» в качестве сегмента перспективной геоинформационной системы, обеспечивающей оперативный прогностический контроль обстановки пожарной опасности заданной региональной лесозоны.

Заключение.

Апостериорное моделирование динамики развития ЛЛП (применительно к задаче краткосрочного прогнозирования распространения нестационарного фронта лесного пожара по текущим данным космомониторинга) решено в классе квазилинейных обыкновенных дифференциальных уравнений, учитывающих как состоявшиеся так и вероятно-возможные суточные факторы влияния пульсаций метеорологической среды в зоне развития пожара на процессы переноса и охвата его нестационарного контура.

Разработано интерактивное программно-математическое обеспечение (пакет «РЕДИМ»), позволяющее на основе численного моделирования, исследовать различные режимы динамики развития контура локального лесного пожара при решении задачи текущего краткосрочного прогнозирования распространения его нестационарного фронта в сложной физико-геодезической среде.

Показано, что все теоретические результаты, полученные в [1], носят конструктивный характер (доведены до алгоритмов и их программ п. 1). Контрольные примеры из п. 2 согласованы с логикой физических допущений, являю-

щихся традиционными и общепринятыми в теории газодинамики реагирующих сред лесных пожаров. В частности, работа системы «РЕДИМ» показала, что процедуру имитационного моделирования процесса распространения фронта ЛЛП можно строить в терминах квазилинейной дифференциальной динамики (4) [1] на основе триангуляции геодезической карты зоны действия ЛЛП.

Предложенный в обоих частях работы методологический (дифференциальный) подход по краткосрочному прогнозированию распространения фронта локального лесного пожара может быть эффективно использован при проведении теоретико-прикладных исследований в предварительном (эскизном) проектировании (программный комплекс «РЕДИМ») сегмента алгоритмического обеспечения перспективной геоинформационной технологии для системы оперативного космомониторинга лесных пожаров.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. К методам оперативного прогнозирования фронта лесного пожара [Текст] / А. В. Данеев, В. А. Русанов, Т. В. Удилов, Д. Ю. Шарпинский // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. ИрГУПС. — 2008. — Спец. вып. — [С. 24 — 26].
2. Комплекс программ моделирования динамики локального лесного пожара «ФАКЕЛ» [Текст] : свидетельство «Роспатента» об официальной регистрации программы для ЭВМ / Г. П. Файзрахманов, А. В. Данеев, Л .В. Русанова, М. В. Русанов ; Роспатент. — Опубл. 12.04.2005. — М., 2005. — № 20005610883.
3. Шварц-Зиндер, С. Н. Программа выявления причин пожаров на объектах различного функционального назначения «ДАРШ» [Текст] : свидетельство «Роспатента» об официальной регистрации программы для ЭВМ / С. Н. Шварц-Зиндер, А. В. Данеев, В. А. Русанов ; Роспатент. — Опубл. 27.02.2003. — № 2003610590.
4. Понтрягин, Л. С. Обыкновенные дифференциальные уравнения [Текст] / Л. С. Понтрягин. — М.: Наука, 1974. — 332 с.
5. Андриевский, Б. Р. Элементы математического моделирования в программных средах MATLAB и SCILAB [Текст] / Б. Р. Андриевский, А. Л. Фрадков. — СПб. : Наука, 2001. — 286 с.
6. Иванов, В. В. Методы вычислений на ЭВМ [Текст] : справ. пособие / В. В. Иванов. — Киев : Наук. Думка, 1986. — 584 с.
7. Дружинин, Э. И. К теории прямых вычислительных алгоритмов параметрической идентификации линейных объектов [Текст] / Дружинин Э. И., Дмитриев В. II. // Теоретические и прикладные вопросы оптимального управления / под ред. С. Т. Завалишина, А. А. Толстоногова. — Новосибирск : Наука, 1985. — С. 218 — 225.
8. Хорн, Р. Матричный анализ [Текст] / Р. Хорн, Ч. Джонсон. — М. : Мир, 1989. — 656 с.
9. Спутниковый мониторинг лесных пожаров в России. Итоги. Проблемы. Перспективы [Текст] / Н. А. Абушенко, Д. А. Алтынцев, В. Н. Антонов [и др] ; ГПНТБ СО РАН. — Новосибирск, 2003. — 135 с.

Шаманов В.И.

УДК 656.259.2.004.5

ЭЛЕКТРОИЗОЛИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ШПАЛ

Верхнее строение пути с использованием рельсовых плетей обеспечивает уменьшение динамических нагрузок на путь и подвижной состав, уменьшает потери в тяговом электроснабжении за счет уменьшения электрического сопротивления обратной тяговой сети. Исключение скреплений между рельсовыми звеньями уменьшает количество сбоев в рабо-

те рельсовых цепей и устройств автоматической локомотивной сигнализации, так как при этом существенно уменьшается вероятность появления продольной асимметрии электрического сопротивления рельсовых нитей. Укладываются рельсовые плети на железобетонные шпалы. Однако электрическое сопротивление железобетонных шпал часто оказывается ниже допускаемых величин, что приводит к отказам рельсовых цепей, в том числе тональных.

Удельное сопротивление изоляции рельсовых линий из-за пониженного электрического сопротивления железобетонных шпал может уменьшаться до 0,04 — 0,17 Ом·км при допускаемом нижнем пределе этого сопротивления 1,0 Ом·км для двухниточных рельсовых цепей частотой 25 и 50 Гц и не ниже 0,25 Ом·км для самых коротких тональных рельсовых цепей. Восстановление работоспособности рельсовых цепей при таких отказах требует больших затрат времени и ресурсов, приводит к значительным задержкам поездов и ухудшению безопасности их движения.

Особенностью протекания сигнальных токов по рельсовым линиям с железобетонными шпалами является то, что до 90 % сигнального тока между рельсовыми нитями утекает по шпалам и только 10% замыкается через балласт [1].

Электрическое сопротивление бетона не достаточно для того, чтобы обеспечить требуемую величину сопротивления железобетонных шпал по условиям устойчивой работы рельсовых цепей. Необходимая величина этого сопротивления между рельсами обеспечивается специальными электроизолирующими элементами рельсового скрепления — втулками, прокладками и вкладышами-пустотообразователями.

Электрический ток утекает из рельсов, имеющий глухой электрический контакт с металлическими подкладками, в арматуру шпалы по трем цепям: через нашпальные изолирующие прокладки и два закладных болта, крепящих металлические подкладки с рельсами к шпале. Рассматриваемые закладные болты сверху изолируются от подкладок втулками из пресс-материалов. Снизу на эти болты с надетыми на них седловидными шайбами отделяются от бетона шпалы вкладышами-пустотобразователями, изготавливаемыми из композиции на основе полипропилена и сополимеров пропилена. Нашпальная прокладка представляет собою резинокордовую пластину.

Электроизолирующие свойства новых элементов после их установки весьма высоки. Однако процессы старения вызывают появление на поверхности этих элементов микротрещин, проникновение в которые токопроводящей грязи и солей снижает их электрическое сопротивление. С течением времени на поверхности рассматриваемых элементов образуется также тонкая проводящая пленка из пыли и загрязняющих веществ, а в отверстиях для закладных болтов под изолирующими втулками скапливаются загрязняющие и засоряющие вещества. Очистка этих отверстий практически невозможна, что определяет необратимость данного процесса.

Процессы накопления засоряющих веществ на изолирующих элементах зависят от количества осадков и количества накопленного за зиму загрязненного снега на рельсовых скреплениях. Это количество в свою очередь зависит и от того, насколько интенсивно выдувается снег из междупутья при движении поездов.

На вкладыши-пустотообразователи в нижней части закладных болтов действуют значительные по величине механические динамические усилия, которые приводят со временем к продавливанию изолирующих стенок этих вкладышей. В результате появляется электрический контакт закладных болтов, обеспечивающих скрепление с железобетонными шпалами металлических подкладок под рельсы, через седловидные закладные шайбы с бетоном шпалы или с её металлической арматурой. Исправность этой части электрической изоляции железобетонных шпал в настоящее время никак не контролируется.

Сложность контроля электрического сопротивления железобетонной шпалы, уложенной в путь, определяется тем, что ее сопротивление при измерениях нельзя отделить от входных сопротивлений рельсовой линии в обе стороны контролируемой шпалы. Достаточно сложно контролировать и состояние отдельных составляющих электрического сопротивления шпал, где требуется использование методов неразрушающего контроля.

В технологическом процессе технического обслуживания РЦ предусмотрены работы по проверке изоляции железобетонных шпал [2]. Эти работы позволяют достоверно обнаруживать наличие утечки сигнального тока через шпалу только при двустороннем пробое изоляции на её металлическую арматуру. Односторонний пробой изоляции закладных болтов у одного из рельсов эти работы позволяют выявить только в частном случае, когда другой рельс замкнут на арматуру.

В соответствии с другим рекомендуемым методом измеряют напряжение между рельсами над контролируемой шпалой и напряжение между рельсом и одним из закладных болтов противоположного рельса, а затем находят их отношение делением результатов второго измерения на напряжение между рельсами. Если это отношение равно или меньше определенной величины, в зависимости от типа используемого измерительного прибора, то считается, что сопротивление изоляции железобетонной шпалы находится в норме [2]. Но контролируемые сопротивления изоляции при этом образуют делитель напряжения, и измеряемое отношение напряжений зависит от отношения величин сопротивлений этого делителя, а не от абсолютных значений этих сопротивлений. Следовательно, этот метод этот не дает никакой информации об исправности изоляции.

Выполнение данных работ не дает также возможность определить, неисправность какого или каких электроизолирующих элементов вызвало появление повышенной утечки.

Цепи протекания сигнальных токов из рельса в рельс по железобетонным шпалам отличаются многообразием, что определяет относительную сложность электрической схемы её замещения (рис. 1). На этой схеме приняты следующие условные обозначения:

$P1, P2$ - рельсы;

A- металлическая арматура шпалы;

$1ЗБ1$;$1ЗБ4$ - первый и четвертый закладные болты шпалы для первого рельса;

$2ЗБ1$; $2ЗБ4$ - то же для второго рельса;

$R_{Р1З1}$; $R_{Р1З4}$ - электрическое сопротивление цепи между первым рельсом и, соответственно, первым и четвертым закладными болтами;

$R_{Р2З1}$; $R_{Р2З4}$ - то же для второго рельса;

$R_{1З1Б}$; $R_{1З4Б}$ - электрическое сопротивление цепи между бетоном шпалы и, соответственно, первым и четвертым закладными болтами первого рельса;

$R_{2З1Б}$; $R_{2З4Б}$ - то же для второго рельса;

$Z_{1Б1}$; $Z_{1Б4}$ - сопротивление бетона шпалы между арматурой и, соответственно, первым и четвертым закладными болтами первого рельса;

$Z_{2Б1}$; $Z_{2Б4}$ - то же для второго рельса;

$R_{1П}$; $R_{2П}$ - электрическое сопротивление подкладок, соответственно, первого и второго рельсов;

$Z_{1БП}$; $Z_{2БП}$ - электрические сопротивления бетона между соответствующей подкладкой и арматурой;

$R_{1З1Бл}$; $R_{1З4Бл}$; $R_{1ПБл}$ - электрические сопротивления между балластом и местами стекания в бетон шпалы сигнальных токов, соответственно, из первого и четвертого закладных болтов и через подкладку первого рельса;

$R_{2З1Бл}$; $R_{2З4Бл}$; $R_{2ПБл}$ - то же для второго рельса;

$R_{Бл}$ - сопротивление балласта;

$R_{1БлЗ}$; $R_{2БлЗ}$ - электрическое сопротивление между балластом и землей для первого и второго рельсов;

$R_{пов}$ - электрическое сопротивление поверхности шпалы.

Последнее сопротивление может оказывать существенную роль в утечке сигнальных токов из рельса в рельс при загрязненной токопроводящими веществами поверхности шпал.

Как отмечалось, в рельсовых цепях с железобетонными шпалами утечка сигнального тока между рельсовыми нитями через балласт не играет заметной роли. С учетом этого электрическая схема замещения железобетонной шпалы была преобразована в схему замещения, показанную на рис. 2.

Условные обозначения на рис. 2, отличающиеся от условных обозначений на рис. 1, следующие:

$R^{В}_{1з1}$; $R^{В}_{1з4}$; $R^{В}_{2з1}$; $R^{В}_{2з4}$ - электрические сопротивления в верхней части соответствующего закладного болта;

$R^{Н}_{1з1}$; $R^{Н}_{1з4}$; $R^{Н}_{2з1}$; $R^{Н}_{2з4}$ - электрические сопротивления в нижней части соответствующего закладного болта;

$Z_{ОЭ}$ - эквивалентное сопротивление остальных цепей утечки сигнального тока между рельсами $P1$ и $P2$.

Показанная на рис. 2 электрическая схема замещения позволила разработать патентуемый в настоящее время способ технической диагностики состояния электроизолирующих элементов железобетонных шпал. Этот способ позволяет в условиях эксплуатации не только найти неисправность с глубиной до каждого из электроизолирующих элементов, но и определить численные значения электрического сопротивления как всей шпалы между рельсами, так и каждого из элементов, обеспечивающих её электрическую изоляцию. Использование этого способа диагностики позволило выявить следующее.

Во всех двухниточных рельсовых цепях, кроме тональных, нижний предел удельного сопротивления изоляции рельсовой линии равен 1,0 Ом·км. В рельсовых линиях с железобетонными шпалами это условие выполняется, если сопротивление между рельсами у каждой шпалы будет не меньше 2,0 кОм. Если считать, что сопротивление шпалы распределено равномерно по её электроизолирующим элемен-

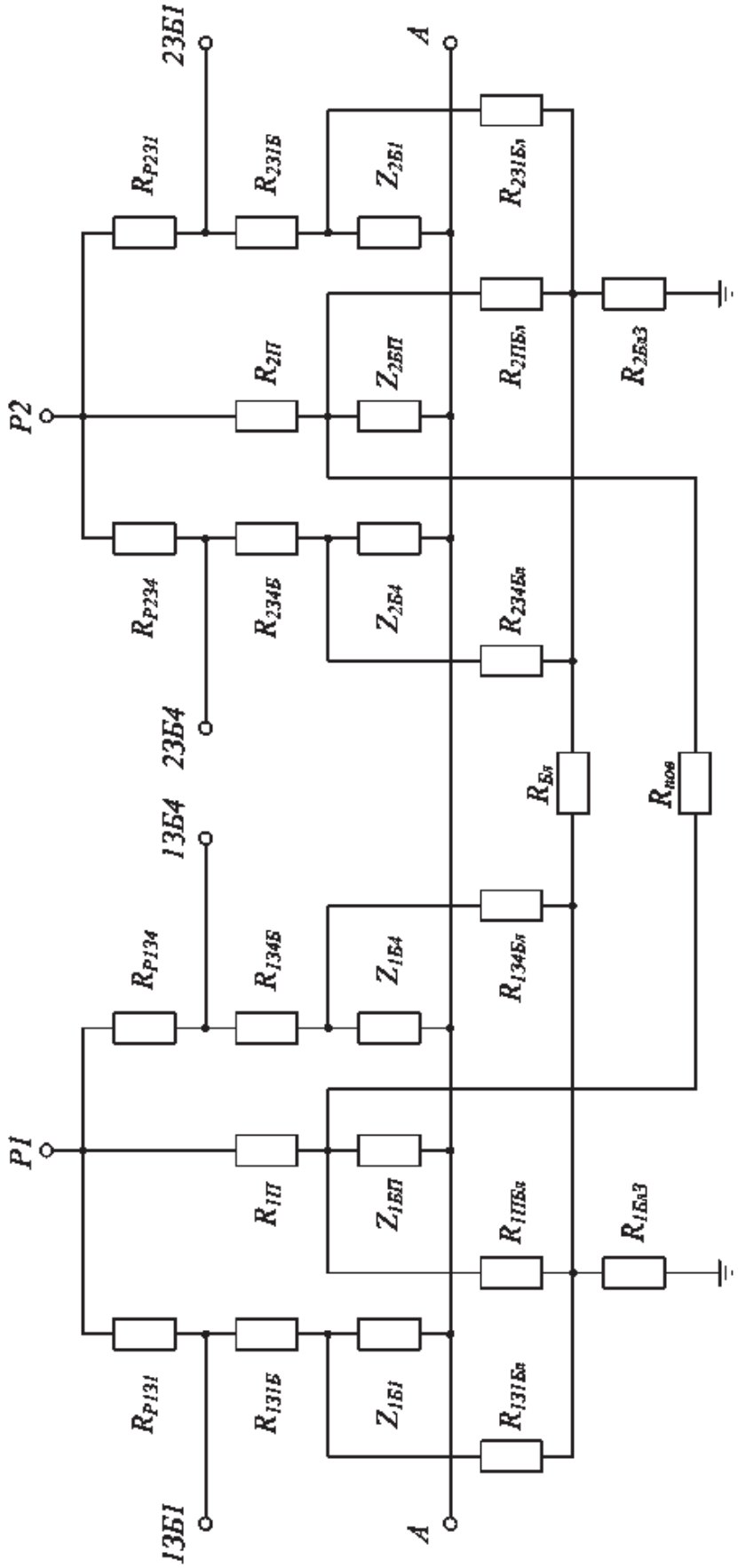


Рис. 1. Принципиальная схема цепи протекания сигнальных токов

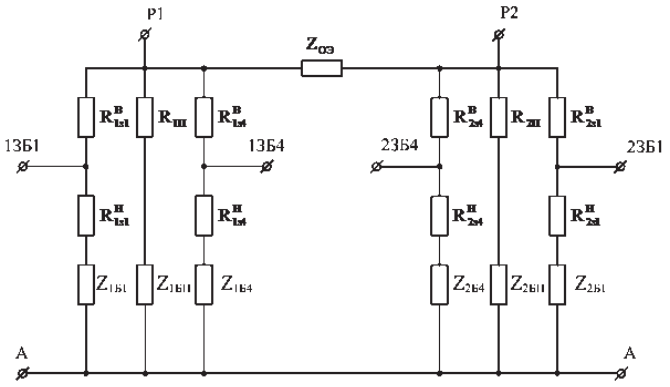


Рис. 2. Преобразованная электрическая схема замещения железобетонной шпалы

там, то сопротивление между каждым рельсом и металлической арматурой шпалы должно быть не меньше 1,0 кОм, а сопротивление каждой из трех цепей утечки сигнального тока из рельса в шпалу должно быть не меньше 3 кОм. Если сопротивление двух из трех этих цепей находится в пределах нескольких килоОм или измеряется мегомами, нижним пределом третьей цепи будет величина в 1,0 кОм.

Анализ результатов проведенных измерений сопротивления железобетонных шпал на перегонах с кодовой автоблокировкой показал, что после пяти лет эксплуатации только у 40% скреплений изоляция была исправной. Сопротивление нашпальных прокладок у шпал с пониженной изоляцией было ниже 1,0 кОм у 31 % обследованных шпал и ниже 3,0 кОм — у 69 % шпал. Полностью исправной изоляция с сопротивлением более 500 кОм была только у 31 % нашпальных прокладок.

Сопротивления изоляции в нижней части закладных болтов, крепящих подкладки к шпале, было в пределах нормы только у 16 % из обследованных шпал. Изолирующие втулки, обеспечивающие электрическую изоляцию этих закладных болтов от железобетонной шпалы, имели сопротивление меньше 2 кОм только у 12,5 % обследованных шпал со сроком службы 5 лет.

Если у железобетонной шпалы исправна электрическая изоляция хотя бы с одной стороны, то даже пробой изоляции у другого рельса на работе рельсовой цепи не сказывается. У 62% из обследованных шпал сопротивление изоляции одной стороны шпалы было меньше 1,0 кОм, но полностью неисправной изоляция была только у 12 % шпал. Измерения показали, что на одну шпалу с неисправной изоляцией приходилось четыре шпалы с односторонним пробоем изоляции. С увеличением срока службы количество шпал с неисправной изоляцией росло [3].

Величина нижнего допускаемого предела удельного сопротивления изоляции рельсовой линии при тональных рельсовых цепях зависит от несущей частоты сигнала, длины рельсовой цепи от путевого генератора до путевого приемника и длины кабеля, соединяющего путевой приемник с рельсовой линией. Следовательно, нижний допускаемый предел электрического сопротивления железобетонных шпал тоже является функцией этих парамет- ров.

Обследование состояния электрической изоляции наиболее загрязненных железобетонных шпал в осенний период при талом грунте на перегонах с тональными рельсовыми цепями показало, что только 30% скреплений у этих шпал имели исправную изоляцию между рельсами.

Полное сопротивление шпал между рельсами у шпал со сроком службы 1,5 года составляло 870 Ом, а у шпал со сроком службы 5 лет — 450 Ом, тогда как среднее минимальное сопротивление железобетонных шпал в этих рельсовых цепях должно было составлять 1,6 кОм.

Поэлементная диагностика состояния электроизолирующих свойств показала, что у всех обследованных шпал при тональных рельсовых цепях изолирующие втулки закладных болтов были исправны. А изоляция вкладышей-пустотообразователей была нарушена у всех шпал. Величина её сопротивления была меньше 1,0 кОм у 88 % обследованных шпал. С ростом срока службы шпал с 1,5 до 5,0 лет среднее сопротивление в нижней части закладных болтов уменьшилось с 440 до 350 Ом.

Сопротивление изолирующих нашпальных подкладок в обследованных шпалах при тональных рельсовых цепях не превышало 720 Ом в шпалах со сроком службы 1,5 года и 240 Ом в шпалах со сроком службы 5,0 лет. Средняя величина этого сопротивления в шпалах со сроком службы 1,5 года была 440 Ом, а у шпал со сроком службы 5,0 лет — 160 Ом.

Измерения в станционных рельсовых цепях на железобетонных шпалах показали, что после года эксплуатации сопротивление изоляции все вкладыши-пустотообразователи были продавлены, и седловидные закладные шайбы касались бетона. Только 25 % изолирующих нашпальных подкладок имели сопротивление, исчисляемое сотнями килоОм, а 25 % подкладок имели сопротивление в пределах 1,0 — 2,0 кОм.

Самой недолговечной является изоляция, обеспечиваемая вкладышами-пустотообразователями. Уже в течение первого года эксплуатации железобетонных шпал стенки практически у всех вкладышей-пустотообразователей были продавлены закладными седловидными шайбами. В результате нижняя часть закладных болтов, скрепляющих металлические подкладки со шпалами, получает непосредственный контакт с бетоном или арматурой шпалы. И если изолирующие втулки в верхней части этих болтов оказываются перекрытыми токопроводящим мокрым снегом или грязью, то сопротивление рельса по отношению к шпале падает до нескольких десятков или сотен Ом.

Узел, включающий в себя вкладыш-пустотообразователь и закладную седловидную шайбу, является неразборным, поэтому приходится или мириться с указанным предотказным состоянием, или заменять шпалы с неисправной электрической изоляцией.

Вторым слабым звеном в электрической изоляции рельсовых скреплений являются изолирующие нашпальные прокладки. Их электрическое сопротивление уменьшается с течением времени из-за действия деградационных процессов и загрязнения. Из-за загрязнения верхней части шпал торцы нашпальных прокладок в процессе эксплуатации тоже покрываются грязью. Это часто приводит к закорачиванию металлической подкладки на шпалу через эту грязь или мокрый токопроводящий снег. Устраняют такие отказы очисткой от грязи и промыванием поверхности шпал или заменой нашпальных прокладок. Работы эти достаточно трудоемки, а время восстановления этих отказов исчисляется часами, что также приводит к значительному ущербу в поездной работе.

Следовательно, электроизолирующие свойства скреплений у изготавливаемых серийно железобетонных шпал не отвечают современным требованиям.

Значительное повышение срока службы шпал по их электроизолирующим свойствам обеспечивает запатентованная конструкция скрепление рельсов с железобетонными шпалами, обеспечивающая [4].

Повышение долговечности электрической изоляции от шпалы металлических подкладок, к которым рельсы крепятся закладными болтами, обеспечивается в этой конструкции изолирующими бортиками над верхней поверхностью шпалы за счет удлинения нашпальных прокладок. В результате резко уменьшается вероятность перекрытия электрической изоляции шпалы по её поверхности мокрым снегом или другими загрязняющими токопроводящими материалами.

Срок службы изоляции в нижней части этих закладных болтов увеличивается за счет снабжения закладных седловидных шайб электроизолирующим покрытием. Такая двойная электрическая изоляция закладных болтов от бетона и арматуры шпалы резко уменьшает вероятность пробоя изоляции в нижней части этих болтов при продавливании вкладышей-пустотообразователей.

Таким образом, разработан способ измерения сопротивления электроизолирующих элементов железобетонных шпал с использованием приемов неразрушающего контроля. Применение способа позволило выяснить причины недостаточной долговечности шпал этого типа по требованиям обеспечения необходимого уровня электрической изоляции в рельсовых цепях между рельсовыми нитями, а также усовершенствовать конструкцию скреплений для повышения срока их службы.

Способ измерения позволяет достоверно определять в условиях эксплуатации причины, вызывающие переход электрической изоляции железобетонных шпал в предотказное состояние или состояние отказа, и тем самым достоверно выбраковывать шпалы, вызывающие недопустимое снижение сопротивления изоляции рельсовых линий.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Аркатов, В. С. Рельсовые цепи. Анализ работы и техническое обслуживание [Текст] / Аркатов В. С., Кравцов Ю. А., Степенский Б. М. — М. : Транспорт, 1990. — 295 с.
2. Устройства СЦБ. Технология обслуживания [Текст]. — М. : Транспорт, 1999. — 433 с.
3. Долговечность электроизолирующих свойств элементов железобетонных шпал [Текст] / Шаманов, В. И., Шевердин И. Н., Солдатенков Е. Г., Трофимов Ю. А., Пультяков А. В. // Железнодорожный трансп. — 2008. — № 10. — С. 56 — 59.
4. Пат. 74396 Российская Федерация, МПК[7] U 1, F 15, B 11/12. Изолирующее скрепление рельсов с железнодорожными шпалами [Текст] / Шаманов, В. И., Пультяков А. В., Трофимов Ю. А., Шаманова С. И. ; заявитель и патентообладатель Иркут. гос. ун-т путей сообщ. — заявл. 27.06.2008 ; опубл. 27.11.2008, Бюл. [№ 33]. — 6 с. : ил.

Насников Д.Н.

УДК 656.01

АКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КАК ТИПОВЫЕ ЗВЕНЬЯ В УПРАВЛЯЕМЫХ ВИБРОЗАЩИТНЫХ СИСТЕМАХ*

Виброзащитные системы, содержащие активные элементы, связанные с внешними источниками энергии, практически становятся системами автоматического управления, работающими в специальных режимах. Такой подход нашел отражение в ряде работ [1-4], в которых сделана предварительная оценка возможностей изменения динамических свойств виброзащитных систем (ВЗС).

Функциональная схема активной виброзащитной системы [4], приведенная на рис. 1, трансформируясь в расчетную схему, является эквивалентной в динамическом отношении системе автоматического управления [5]. В следствие этого появляются соответствующие возможности построения математических моделей, интерпретируемых структурными схемами и правилами их преобразования согласно методам теории автоматического регулирования.

В разработках последних лет [3] много сделано для развития идей расширения набора средств пассивной виброзащиты, так называемых дополнительных связей [6]. Они могут интерпретироваться через механические цепи (в том числе механизмы) и системы, состоящие из упруго-инерционных, а в общем случае — из элементов, связанных через упругие соединения [7].

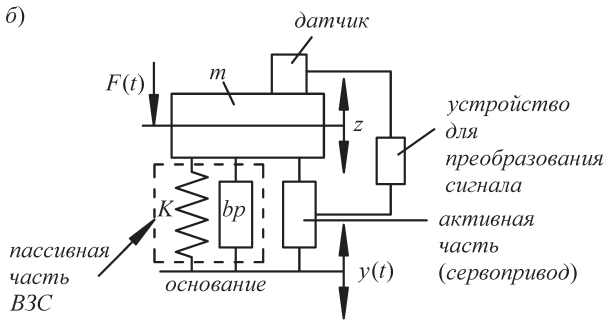


Рис. 1. Функциональная схема активной виброзащитной системы

I. В активных системах (Рис. 1) объектом управления является защищаемый объект, так как пассивные элементы чаще всего присутствуют в виде пружин, демпферов и их комбинации.

Можно полагать, что действие сервопривода привносится пониманием существования регулятора. Входными данными последнего являются параметры технического состояния объекта (в частности, динамического или вибрационного); таковыми могут рассматриваться абсолютные и относительные перемещения, скорости и ускорения отдельных точек, угловые перемещения, усилия и напряжения, возникающие в элементах конструкции и т.п. В первом случае, активная система является замкнутой системой с управлением по отклонениям, во втором — системой с управлением по возмущению.

Входные воздействия измеряются датчиками, образующими измерительное устройство регулятора. Полученная при этом информация преобразуется и анализируется в корректирующем устройстве, далее сигналы усиливаются и передаются в исполнительное устройство, формирующее управление. В связи с этим хотелось бы отметить, что реализация управления в виде некоторой силы, изменяющей техническое состояние, требует учета ряда обстоятельств. Активное устройство часто принимает форму некоторого механизма, действующего и на защищаемые объект и на основание (подвижное или неподвижное), то есть действует в соответствием с законом "действие вызывает аналогичное противодействие", что заставляет информационные связи выступать замыкающим фрагментом цепи обратной связи более общего вида. При отсу-

* Работа выполнена по гранту ИрГУПС № ТН-08-05М

тствии сигнала, то есть «занулении» информационной сети, проявляются некоторые особенности внутренних конструктивных связей. Последнее может существенно изменять спектр динамических свойств системы. Технические средства для реализации активных (или управляющих) воздействий могут иметь различную конструкцию, в том числе и такую, когда управляемое средство не имеет прямой связи с основанием (или неподвижной системой отсчета), например, управляемый дисбаланс или реактивный элемент. В этом случае вопрос о внутренних связях требует особого рассмотрения.

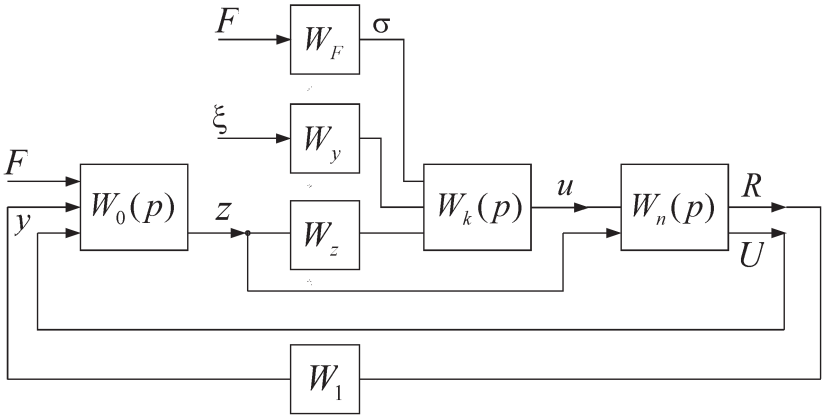


Рис. 2. Функциональная схема активной ВЗС с разделением каналов передачи воздействий

Принципиально возможен и такой подход, когда динамические свойства регулятора, как такового, могут и не рассматриваться в деталях, как это делается в системах активной виброзащиты при использовании нейтральных систем управления. Однако детали, движений и состояния объекта защиты необходимо определить для инженерных расчетов надежности работы элементов активных виброзащитных систем.

II. Рассмотрим более подробно подход, развиваемый автором [4]. Если система является линейной, каждый из ее элементов может характеризоваться как показано в [1,5] передаточными функциями, а связи элементов отразить структурной схемой на рис. 2, где $y(t)$ и $F(t)$ — векторы кинематических и силовых воздействий, z — вектор измеряемых параметров вибрационного поля (объект защиты). Матрицы передаточных функций W_y, W_F, W_z — характеризует свойства линейных измерений устройств. Если каждый из компонент векторов y, F и z измеряется независимо, эти матрицы являются диагональными; при измерении углов поворота объекта матрицы имеют более сложную структуру.

В корректирующем устройстве с передаточной функцией $W_k(p)$ сигналы передаются, преобразуются и имеют выход u, который поступает на выход исполнительного устройства $W_n(p)$, также как и сигналы объекта защиты z. Исполнительное устройство $W_n(p)$ связывает исходные переменные исполнительного устройства с управлением $U(t)$, действующим на объект $W_0(p)$. Кроме того, принимаются во внимание и силы $R(t)$, характеризующие часть силового воздействия, формируемого пассивной частью защиты; передаточная функция $W_1(p)$ связывает воздействие на основание с кинематическими возмущениями. Важным для нас обстоятельством является то, что выход из исполнительного устройства определяет две составляющие динамических взаимодействий в виброзащитной системе — активная компонента U и R — действие пассивных элементов, что позволяет, как это было показано в работах [5,7], прийти к обобщенной постановке задач виброзащиты и виброизоляции.

На рис. 3 приведена схема одномерной системы, в которой управление $U(t)$ формируется по выходной координате z при жестком основании. В работах [1,5] это соответствует введению активного элемента с управлением по абсолютному отклонению. Управление движения объекта может быть записано в форме

$$z = \sum_{i=1}^{k} w_{0i}^{(F)}(p)F_i + \sum_{j=1}^{s} w_{0j}^{(y)}(p)y_i + W_0^{(U)}U, \qquad (1)$$

где F_i и y_j — компоненты динамических воздействий;

$w_{0i}^{(F)}, w_{0j}^{(y)}, w_0^{(U)}$ — элементы матрицы-строки передаточных функций объекта.

Отметим, что $U(t)$ и $z(t)$ связаны между собой

$$U = w_n^{(u)}(p)u + w_n^{(z)}(p)z = \left[w_n^{(u)}(p)w_k(p)w_z(p) + w_n^{(z)}(p)\right]z = -W_{gon}(p)z. \qquad (2)$$

Здесь $w_n^{(u)}$, $w_n^{(z)}$, $w_k(p)$, $w_z(p)$ — функционально определены на схеме (Рис. 3).

В дальнейшем $W_{gon}(p)$ можно будет назвать передаточной функцией обратной связи

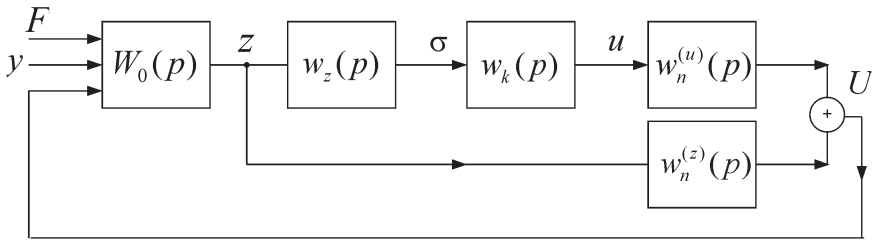


Рис. 3. Функциональная система активной ВЗС с управлением по абсолютному отклонению

или передаточной функцией активного звена, как это было показано в работе [3]. Подставляя (1) в (2), получим

$$U = w_n^{(u)}(p)u + w_n^{(z)}(p)z = \left[w_n^{(u)}(p)w_k(p)w_z(p) + w_n^{(z)}(p) \right] z = -W_{gon}(p)z. \quad (3)$$

Функция

$$\Phi(p) = w_0^{(U)}(p)\, W_{gon}(p) \quad (4)$$

представляет собой передаточную функцию разомкнутой системы. Если обратиться к рис. 1, то

$$\Phi(p) = \frac{1}{mp^2} = \frac{\bar{z}}{\bar{F}}, \quad (4')$$

что соответствует для этого случая отношению изображения Лапласа $\bar{z}$ к изображению входной силы F. При комплексном сопротивлении (силовое и кинематическое) $\Phi(p)$ принимает иной вид. Из (3) получаем также

$$\bar{z} = [1 + \Phi(p)]^{-1} \left[\sum_{i=1}^{k} w_{0i}^{(F)}(p)F_i + \sum_{j=1}^{s} w_{0j}^{(y)} y_i \right]. \quad (5)$$

Функция

$$W(p) = [1 + \Phi(p)]^{-1} \quad (6)$$

является передаточной функцией замкнутой системы, а функции

$$w_i^{(F)}(p) = W(p)w_{0i}^{(F)}(p), \quad (7)$$

$$w_j^{(y)}(p) = W(p)w_{0j}^{(y)}(p) \quad (7')$$

— передаточными функциями системы с соответствующим видом возмущения. Опираясь на (7) и (7'), можно развить интересный подход, связанный с введением связей по ускорению [6].

При отсутствии в системе активного устройства для z было бы справедливо

$$z = \sum_{i=1}^{k} w_{0i}^{(F)}(p)F_i + \sum_{j=1}^{s} w_{0j}^{(y)}(p)y_i, \quad (8)$$

которое можно получить из (1) при $U \equiv 0$. Сравнивая (8) и (5), находим, что оператор $W(p)$, определяющий изменение выходной переменной z при введении регулятора, характеризует эффективность активного устройства по этой переменной.

III. Выше было показано, что виброзащитная система состоит из ряда звеньев, каждое из которых реализует определенные функции. Пассивная часть виброзащитной системы состоит из упругих и демпфирующих элементов, однако перечень подобных элементов может быть расширен, как это показано в работе [9], что позволяет ввести в состав пассивной ВЗС механические цепи, устройства и механизмы.

Новыми для активных ВЗС являются корректирующие звенья и усилители, выполненные на различных принципах при условии обеспечения согласованности работы в структуре единой цепи обратной связи. Отметим, что датчики перемещений используются в виброзащитных системах, как правило, для измерения сравнительно низкочастотных процессов, при этом упругие деформации деталей датчиков полагают малыми, потому, в первом приближении, датчик можно рассматривать как безинерционный элемент (типа линейной пружины). При увеличении относительных перемещений приходится учитывать нелинейность упругих характеристик.

Измерение абсолютных перемещений и ускорений производится чаще всего с помощью датчиков сейсмического типа, что предполагает соотнесение измерительного устройства к классу звеньев с передаточной функцией колебательного звена [10]. Измерение усилий и механических напряжений производят с помощью динамометров тензометрического типа, которые могут считаться безинерционными линейными элементами.

Корректирующие звенья и усилители используются в схемах управления колебаниями ВЗС для реализации процедур интегрирования и дифференцирования сигналов. Интегрирование сигнала, пропорциональное относительному перемещению, применяется,

например, при создании астатических ВЗС, а дифференцирование — для введения в систему демпфирования. В качестве дифференцирующих и интегрирующих звеньев могут использоваться *RC*-цепочки [11]. Дифференцирующая цепь также имеет передаточную функцию форсирующего апериодического звена. Интегрирующая цепь соответствует апериодическому звену. В реальных условиях необходимо принимать во внимание, что цепи *RC* все же не обеспечивают «чистого» дифференцирования и интегрирования. Отметим, что если на вход подается гармонический сигнал, то сигнал на выходе дифференцирующего звена опережает его по фазе на $\frac{\pi}{2}$, а сигнал на выходе интегрирующего звена отстает по фазе на ту же величину. В связи с этим дифференцирующие и интегрирующие звенья часто называют звеньями опережения (форсирования, форсажа) и запаздывания. В работах [5,6,9] рассмотрены устройства для преобразования движения (на основе несамотормозящихся винтовых механизмов), которые совмещают функции измерения и корректирования.

В активных системах в случае появления необходимости не пропустить сигналы через обратную связь, частоты которых лежат в определенном диапазоне, используются частотные фильтры. В качестве таковых используются специальные *RC*-цепочки, позволяющие получать передаточные функции типа сложного форсирующего апериодического звена $\left(W = \frac{b_0 + b_1 p}{a_0 + a_1 p} \right)$, как фильтра высоких и низких частот. Механические цепи вида — $W = \frac{b_0 + b_1 p}{a_0 + a_1 p + a_2 p^2}$ используются как фильтры низких частот. Частотные фильтры могут строиться также и на основе механических цепей, собираемых из типовых элементов ВЗС [9].

Для усиления электрических сигналов применяются используются усилители постоянного и переменного тока. При тех частотах, которые встречаются в активных ВЗС, такие усилители могут считаться безинерционными с передаточной функцией, соответствующей упругому элементу.

Исполнительные устройства, в которых непосредственно формируются управляющие воздействия, являются наиболее существенными элементами активных систем и определяют тип виброзащитной системы. В зависимости от конструктивных особенностей различают гидравлические, пневматические, электромеханические, электромагнитные и др.

Исполнительные устройства, как правило, не являются звеньями направленного действия. Закон изменения управляющего устройства $U(t)$ зависит не только от закона входного сигнала $u(t)$, идущего от измерительно-информационной системы, но и от законов движения объекта. Этим объясняется то обстоятельство, что исполнительное устройство кроме обратной связи, возникающей как-бы «естественным образом», формирует дополнительную связь между объектом и исполнительным звеном, характеризуемую передаточной функцией $w_n^{(z)}(p)$, как было показано выражением (2). Хотя во многих случаях исполнительные устройства являются нелинейными, при определенных ограничениях возможно построение линеаризованных моделей.

IV. На рис. 4 изображена схема одного из простейших вариантов исполнительного гидравлического устройства: перемещение золотника 1 осуществляется электромагнитом 2, который приводится в действие входным сигналом $\mu(t)$.

Перемещение золотника вызывает поступление рабочей жидкости в одну из камер цилиндра 4; при этом другая камера соединяется через золотник со сливной трубой. Давление в рабочей жидкости обеспечивается насосом 3. Разность давлений в камерах цилиндра создает силу $U(t)$, действующую на поршень 5 и объект защиты. Связь между выходным напряжением $u(t)$ и перемещением золотника

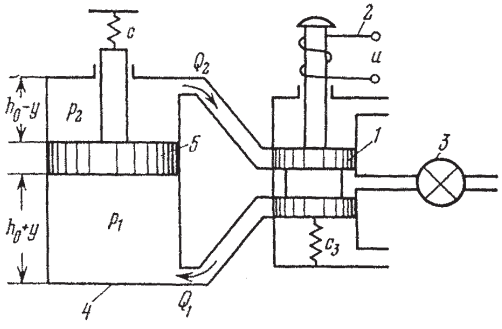


Рис. 4. Принципиальная схема золотникового гидравлического исполнительного устройства

$v(t)$ может быть представлена в форме

$$v = \frac{k_v}{m_3 p^2 + b_3 p + c_3} = \frac{k_v}{c_3} \cdot \frac{1}{T_3^2 p^2 + 2\xi_3 T_3 + 1}. \quad (9)$$

Здесь m_3, c_3 и b_3 — масса золотника, жесткость его упругого элемента, k_v — коэффициент, связывающий силу электромагнита с входным напряжением. В теории автоматического управления [12] золотниковое устройство представляется также последовательным соединением идеального запаздывающего звена, безинерционного линейного усилителя и ограничителя. В работе [4] для оценки связи между объемами жидкости на входе и выходе цилиндра получены уравнения

$$\begin{aligned} Q_1 &= S\dot{y} + \mu S(h_0 + y)\dot{p}_1 + \alpha(p_1 - p_2), \\ Q_2 &= S\dot{y} - \mu S(h_0 - y)\dot{p}_2 + \alpha(p_1 - p_2), \end{aligned} \quad (10)$$

где p_1 и p_2 — давление в нижней и верхней камере, S — площадь поршня, h_0 — длина каждой из камер при его среднем положении, y — перемещение поршня, отсчитываемое от среднего положения, V_1 и V_2 — объем камер, Q_1 — объемный расход жидкости на входе в нижнюю камеру, Q_2 — объемный расход жидкости на выходе из верхней камеры,

$$V_1 = S(h_0 + y),\ V_2 = S(h_0 - y),$$
$$\dot{V}_1 = Q_1 - \mu V_1 \dot{p}_1 - \alpha(p_1 - p_2),$$
$$\dot{V}_2 = -Q_2 - \mu V_2 \dot{p}_2 + \alpha(p_1 - p_2),$$

μ — коэффициент снимаемости, α — коэффициент утечек.

Если принять, что поршень совершает малые колебания вблизи среднего положения, так что $|y| << h_0$, то можно записать

$$\frac{\mu h_0}{2}\dot{U}_\cdot + \frac{\alpha}{S}U_\cdot = Q_{\max} \cdot f(v) - S\dot{y}, \quad (11)$$

где $U_\cdot = S(p_1 - p_2)$ — движущая сила, действующая на поршень.

При линеаризации функции $f(v)$ из (11) можно получить

$$\frac{\mu h_0}{2}\dot{U}_\cdot + \frac{\alpha}{S}U_\cdot = Q_{\max} k_v \cdot v - S\dot{y}. \quad (12)$$

При неподвижном положении золотника в среднем положении ($v \equiv 0$) и при осутствии утечек ($\alpha \equiv 0$) из (11) определим

$$U_\cdot = -\frac{2S}{\mu h_0} y. \quad (13)$$

Таким образом рабочая жидкость создает восстанавливающую силу, эквивалентную упругому элементу с жесткостью

$$C_\cdot = \frac{2S}{\mu h_0} y, \quad (14)$$

и можно принять

$$\dot{y} = \frac{Q_{\max}}{S} f(v) \quad (15)$$

или

$$\dot{y} = \frac{Q_{\max}}{S} k_v \cdot v. \quad (16)$$

Из анализа (15), (16) следует, что исполнительное устройство при введенных веше предположениях, формирует непосредственно не управляющее усилие, а закон движения поршня. В этом случае исполнительное устройство становиться звеном направленного действия, закон движения которого не зависит от свойства объекта защиты и определяется только движением золотника. Особенности таких систем рассмотрены, в частности, в работе [13]. Использование упрощенных характеристик (15), (16) допустимо при приближенном исследовании низкочастотных процессов. Из (16) следует также, что относительное перемещение поршня

$$y_0 = \frac{Q_{\max} k_v}{Sp} v \quad \left(p = \frac{d}{dt}\right), \quad (17)$$

то есть передаточная функция гидравлического исполнительного устройства может рассматриваться (с учетом конкретных обстоятельств) как передаточная функция интегрального звена.

При высокочастотных колебаниях золотника амплитуда относительных колебаний будет достаточно малой и исполнительное устройство по своим свойствам приближается к жесткому элементу, соединяющему объект с основанием, что приводит к необходимости введения между объектом и поршнем упругого элемента, тогда

$$U(t) = -c(y - y_n) = -cy + \frac{cQ_{\max} k_v}{Sp} v. \quad (18)$$

Уравнение (12) определяет движущую силу, действующую на поршень, но таких сил две: одна действует на объект, другая — на основание. Чтобы получить управление $U(t)$, нужно учесть силу инерции поршня и силу сопротивления его движению

$$U(t) = U_\cdot(t) - m_n \ddot{x}_n - b_n \dot{y}, \quad (19)$$

где m_n — масса поршня и присоединенных к нему деталей, $\ddot{x}_n$ — абсолютное ускорение поршня, b_n — коэффициент силы сопротивления.

Таким образом, в гидравлическом исполнительном устройстве возникает не только управление $U(t)$, действующее на защищаемый объект, но и сила, которая прикладывается к основанию. Когда корпус устройства (цилиндр) крепится к основанию — это будет — $U_.(t)$. Более подробно этот вопрос рассматривается в работах [7,14,15]. При этом предполагалось, что в учете силовых взаимодействий внутри управляемой колебательной системы, необходимо иметь в виду закон механики: действие вызывает соответствующее противодействие. Если массой поршня и параметрами его движения можно пренебречь, то упомянутые условия выполняются.

V. Пневматическое устройство. Конструкция таких устройств может быть различной, например, могут использоваться цилиндры двойного действия, давление в которых регулируется золотниковыми или струйными распределителями. В других случаях примеряются проточные камеры с дроссельными устройствами (сопло-заслонка) и т.д. [16].

Рассмотрим пневматическую рабочую камеру (Рис. 5), ограниченную сверху поршнем (площадью S), смещенным от некоторого среднего положения на y. На входе установлен дроссель, площадь сечения которого регулируется перемещением заслонки $u(t)$. Давление перед дросселем p' может быть переменным, если дроссель помещается между камерами.

Будем считать, что при малых перепадах давлений можно не учитывать влияние изменения плотности рабочего тела на характеристики расхода. Примем также, что характеристики расхода в динамике (при переменных давлениях на входе и на выходе дросселя) в каждый момент времени совпадают со статическими характеристиками, соответствующим постоянному давлениям. Обычно полагают при этом, одинаковыми величины давления во всех точках камеры в каждый данный момент времени.

Учитывая, что

$$V = S(h_0 + y), \quad \dot{V} = S\dot{y}, \tag{20}$$

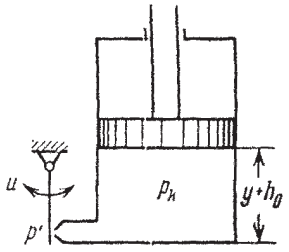


Рис. 5. Принципиальная схема дроссельного пневматического исполнительного устройства

находим

$$\dot{p}_k S(h_0 + y) + p_k S\dot{y} = \frac{RT}{\mu g} G(p', p_k, u), \tag{21}$$

где h_0 — высота камеры при некотором начальном положении поршня,

y — перемещение поршня, отсчитываемое от этого положения,

p_k — давление в камере,

G — расход воздуха (при докритическом истечении),

R — универсальная газовая постоянная,

T — абсолютная температура,

V — объем камеры.

Из уравнения (21) можно определить $p_k(t)$, заданы $p'(t)$ и $u(t)$. Линеаризация (21) возможна в том случае, если рассматриваются малые отклонения системы от некоторого стационарного состояния, при которых y и $\dot{y}$ являются малыми величинами, а p_k остаются близким к некоторому p_0, тогда

$$Sh_0\dot{p}_k + Sp_0\dot{y} = \frac{RT}{\mu g}\left\{G(p', p_0, 0) + \left(\frac{\partial G}{\partial u}\right)_0 u + \left(\frac{\partial G}{\partial p}\right)_0 (p_k - p_0)\right\}. \tag{22}$$

Если принять за стационарное такое состояние, при котором $p' = p_0$ и, следовательно, $G = 0$, то из (21) можно получить

$$h_0\dot{U}_. + U_0\dot{y} = \frac{RT}{\mu g S}\left(\frac{\partial G}{\partial p_k}\right)_0 (U_. - U_0) + \frac{RT}{\mu g}\left(\frac{\partial G}{\partial u}\right)_0 u, \tag{23}$$

где $U_. = Sp_k$ — сила давления, действующее на поршень, $U_0 = Sp_0$.

Вводя постоянную времени

$$T_n = \frac{h_0 \mu g S}{RT\left(\frac{\partial G}{\partial p_k}\right)_0}, \tag{23}$$

для пневматического исполнительного устройства на рис. 5 получим

$$T_n \Delta\dot{U} + \Delta U = \frac{S\left(\frac{\partial G}{\partial u}\right)_0}{\left(\frac{\partial G}{\partial p_k}\right)_0} u - \frac{U_0 \mu g S}{RT\left(\frac{\partial G}{\partial p_k}\right)_0} \dot{y}. \qquad (24)$$

где $\Delta U = U. - U_0$.

Такое уравнение должно решаться совместно с уравнением движения защищаемого объекта. При составлении структурной схемы виброзащитной системы можно определить вид и форму введения активного устройства как дополнительной связи.

В этом случае пневматическое исполнительное устройство рассматривается как типовое звено с передаточной функцией апериодического или форсирующего апериодического звена [9].

Рассмотрим особенности, которые принимаются во внимание при исследовании проточной камеры, приведенной на рис. 6 и имеющей два дросселя, установленных на входе и на выходе. Обозначим соответствующие весовые расходы через G' и G'' [4,16], тогда

$$G' = G(p', p_k, u); \quad G'' = G(p_k, p'', u), \qquad (25)$$

где p' и p'' — давления перед входным и за входным дросселем. Предполагая, что управляющий сигнал $u(t)$ одинаков для обоих дросселей, уравнение (21) принимает в этом случае форму:

$$\dot{p}_k S(h_0 + y) + p_k S\dot{y} = \frac{RT}{\mu g}\left[G(p', p_k, u) - G(p_k, p'', u)\right] \qquad (26)$$

Если произвести линеаризацию этого уравнения в окрестности стационарного состояния $u = u_0$, $p_k = p_0$, при котором $G' = G''$, то получим уравнение, аналогичное (24)

$$T_n \Delta\dot{U} \quad S\left[\left(\frac{\partial G'}{\partial u}\right)_0 - \left(\frac{\partial G''}{\partial u}\right)_0\right] u - \quad {}_0 \quad y, \quad \left.\right)_0\Big] \qquad (27)$$

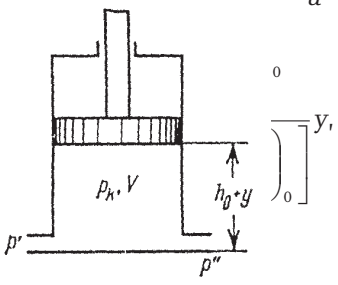


Рис. 6. Принципиальная схема проточного пневматического исполнительного устройства

где

$$T_n = \frac{Sh_0 \mu g}{RT\left(\frac{\partial G'}{\partial p_k}\right)_0 - \left(\frac{\partial G''}{\partial p_k}\right)_0}\left[\left(\frac{\partial G'}{\partial p_k}\right)_0 - \left(\frac{\partial G''}{\partial p_k}\right)_0\right]^{-1}. \qquad (28)$$

Если объем камеры является постоянным, то ее динамическую характеристику можно получить, положив $\dot{y} = 0$ в уравнениях (21), (22).

Передаточная функция пневматического проточного исполнительного устройства может рассматриваться в зависимости от обстоятельств как передаточная функция типового апериодического или сложного (форсирующего) апериодического звена [9].

IV. Электромеханические системы. Исполнительным элементом активных виброзащитных систем являются электродвигатели постоянного или переменного тока. Если ротор соединен и движется с объектом жесткой передачей (Рис.7), то скорость перемещения объекта относительно корпуса двигателя $\dot{y}$ пропорциональна угловой скорости ротора Ω, а управляющее усилие $U(t)$, пропорционально моменту сопротивления M_c на валу двигателя

$$\dot{y} = r\Omega, \quad M_c = rU. \qquad (29)$$

Здесь r — коэффициент пропорциональности (зависит от параметров механизма передачи).

Уравнение движения ротора имеет вид

$$I\dot{\Omega} = M_{вр} - \beta\Omega - M_c, \qquad (30)$$

где I — приведенный момент инерции всех масс, связанных с ротором, β — коэффициент вязкого сопротивления, $M_{вр}$ — вращающий момент двигателя.

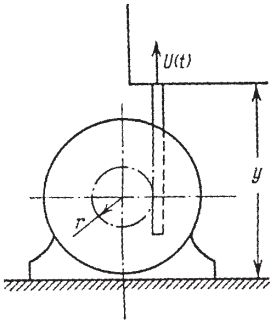


Рис. 7. Принципиальная схема электромеханического исполнительного устройства

Зависимость между $M_{вр}$ и Ω определяется так называемой рабочей характеристикой двигателя. С учетом динамического режима работы необходимо пользоваться динамической характеристикой двигателя, учитывающей инерционность электромагнитных процессов [17].

Динамическая характеристика двигателя постоянного тока имеет следующий вид

$$(T_Э p+1)M_{вр} = M_0 - \mu\Omega, \qquad (31)$$

где $T_Э$ — электромагнитная постоянная двигателя, равная отношению индуктивности якоря $L_Я$ к его активному сопротивлению $R_Я$; M_0 и μ — момент включения и коэффициент наклона характеристики, для которых справедливы соотношения

$$M_0 = k_1 \Phi_B u_Я,\ \mu = k_2 \Phi_B^2, \qquad (32)$$

где Φ_B — возбуждения, $u_Я$ — напряжение на якоре, k_1 и k_2 — коэффициенты, зависящие от конструкции двигателя.

Управление двигателем может производиться изменением напряжения на якоре либо изменением потока возбуждения. Таким образом, $u_Я$ и Φ_B могут рассматриваться как входные переменные исполнительного устройства. Подставив $M_{вр}$ из (30) в (31) и приняв во внимание (29) и (32), можно получить

$$(T_Э p+1)\left[(Ip+\beta)\frac{py}{r}+rU\right] = k_1\Phi_B u_Я - k_2\Phi_B^2\frac{py}{r}. \qquad (33)$$

После ряда преобразований

$$U = \frac{k_1\Phi_B}{r(T_Э p+1)}u_Я - \frac{\left[T_Э Ip^2+(I+T_Э\beta)p+\beta+k_2\Phi_B^2\right]p}{r^2(T_Э p+1)}. \qquad (34)$$

Соотношение (34) связывает управляющую силу с перемещением объекта y и с входными перемещениями. Для расчетов, связанные с задачами виброзащиты, оно должно быть соответствующим образом дополнено уравнением движения объекта. Если $\Phi_B = const$, то характеристика (34) оказывается линейной.

Для двигателя переменного тока динамическая характеристика отличатся от (31) наличием гармонической компоненты. Как показано, например, в работе [12], для двухфазного асинхронного двигателя имеем:

$$[T_Э p+1]M_{вр} = \delta u_{вх} - \mu\Omega + k\Omega\cos 3vt, \qquad (35)$$

где δ, μ и k — величины, зависящие от параметров двигателя, $u_{вх}$ — напряжение на входе управляющей обмотки, v — частота переменного тока. Таким образом, передаточные свойства электромеханического устройства определяются через характеристики типового апериодического звена.

VII. Электромагнитные системы. Простейшая схема исполнительного устройства с электромагнитом показана на рис. 8, где входной переменной является напряжение $u(t)$. Корпус электромагнита крепится к основанию, а якорь к амортизируемому объекту. Сила создаваемая электромагнитом, пропорциональна квадрату силы тока и нелинейно зависит от величины зазора; в общем случае

$$U = \mu_0 S i^2 \varphi(\Delta - y). \qquad (36)$$

Здесь μ_0 — магнитная проницаемость, S — площадь якоря, i — сила тока, $\varphi(\Delta - y)$ — нелинейная зависимость.

Если магнитное поле является однородным, то $\varphi(\Delta - y) = (\Delta - y)^{-2}$. В свою очередь, сила тока определяется из дифференциального уравнения электрической цепи

$$\frac{d}{dt}[L(y)i] = u(t) - ri, \qquad (37)$$

где L — индуктивность, r — активное сопротивление.

Система уравнений (36) (37) определяет динамические характеристики системы, то есть зависимость силы U от законов изменения $u(t)$ и $y(t)$.

Таким образом активные устройства или исполнительные механизмы при их различиях, вызванных конструктивно-техническими причинами, в плане динамического взаимодействия в структуре колебательной системы, соответствуют (в первом приближении) пере-

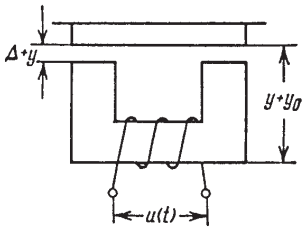


Рис. 8. Принципиальная схема электромагнитного исполнительного устройства

даточным функциям типовых интегральных и апериодических звеньев систем автоматического управления. Однако, при исследованиях и расчетах активных виброзащитных систем необходимо принять во внимание сложный характер реальных динамических связей. В частности в активных виброзащитных системах необходимо учитывать так называемые конструктивные связи, которые проявляются в структурах колебательных систем даже при отсутствии сигналов от датчиков состояния систем.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Елисеев, С. В. Структурная теория виброзащитных систем [Текст] / С. В. Елисеев. — Новосибирск : Наука, 1986. — 237 с.
2. Елисеев, С. В. Виброзащита и виброизоляция как задача управления колебаниями объектов [Текст] / С. В. Елисеев, А. А. Засядко // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. — 2004. — № 1. — С. 20—29.
3. Елисеев, С. В. Проблемы виброзащиты и виброизоляции технических объектов в работах Иркутской школы механиков [Текст] / С. В. Елисеев, А. П. Хоменко // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. ИрГУПС. — 2005. — № 1 (5). — С. 6—32.
4. Коловский, М. З. Автоматическое управления виброзащитными системами [Текст] / М. З. Коловский. — М. : Наука, 1976. — 320 с.
5. Динамический синтез в обобщенных задачах виброзащиты и виброизоляции технических объектов [Текст] / С. В. Елисеев, Ю. Н. Резник, А. П. Хоменко, А. А. Засядко ; Читин. гос. ун-т, Иркут. гос. ун-т путей сообщ. — Иркутск : Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2008. — 523 с. —ISBN 978-5-9624-0291-8.
6. Dynamic of mechanical systems with additional ties [Text] / S. V. Eliseev, A. V. Lukyanov, Yu. N. Reznik, A. P. Khomenko. — Irkutsk : Irkutsk State University, 2006. — 315 p.
7. Банина, Н. В. Структурные методы динамического синтеза колебательных механических систем с учетом особенностей физической реализации обратных связей [Текст] : дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук : 01.02.06 / Н. В. Банина ; Федерал. агентство ж.-д. трансп., Иркут. гос. ун-т путей сообщ. — Защищена 21.12.2006. — Иркутск, 2006. — 192 с.
8. Димов, А. В. Моделирование и динамические процессы в обобщенных задачах виброзащиты и виброизоляции технических процессов [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 01.02.06 / А. В. Димов ; науч. рук. С. В. Елисеев ; Федерал. агентство ж.-д. трансп., Иркут. гос. ун-т путей сообщ. — Защищена 24.11.2005. — Иркутск, 2005. — 210 с.
9. Насников, Д. Н. Типовые звенья в структурных интерпретациях механических колебательных систем [Текст] / Д. Н. Насников, А. С. Логунов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. — 2006. — № 4 (12). — С. 78—92.
10. Иорши, Ю. И. Виброметрия [Текст] / Ю. И. Иорши. — М. : Машгиз, 1963. — 760 с.
11. Спасокукоцкий, О. К. Элементы электроавтоматики [Текст] / Спасокукоцкий О. К., Суд-Злочевский А. И. — Киев : Техника, 1965. — 136 с.
12. Иващенко, Н. Н. Теория автоматического регулирования. Теория и элементы систем [Текст] / Н. Н. Иващенко. — М. : Машиностроение, 1993. — 632.
13. Чупраков, Ю. И. Гидравлические системы защиты человека-оператора от общей вибрации [Текст] / Ю. И. Чупраков. — М. : Машиностроение, 1987. — 224 с.
14. Ермошенко, Ю. В. Управление вибрационным состоянием в задачах виброзащиты и виброизоляции [Текст] : дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук / Ю. В. Ермошенко ; МПС РФ, Иркут. гос. ун-т путей сообщ. — Иркутск, 2003. — 196 с.
15. Драч, М. А. Динамический синтез и моделирование в задачах оценки и изменения вибрационного состояния крутильных колебательных систем [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 01.02.06 / М. А. Драч ; Иркут. гос. ун-т путей сообщ. — Защищена 29.06.2006. — Иркутск, 2006. — 177 с. — № Д 218.004.02.
16. Лонцих, П. А. Пневматические виброзащитные системы [Текст] / П. А. Лонцих, С. В. Елисеев // Теория активных виброзащитных систем : сб. ст. / Иркут. политехн. ин-т. — Иркутск, 1975. — Вып. 2., ч. 1. — С. 5—97.
17. Вейц, В. Л. Динамика машинных агрегатов [Текст] / В. Л. Вейц. — Л. : Машиностроение. — 1969. — 368 с.

Пекарь К.А., Руш Е.А., Халиуллин А.К. УДК 661723 + 678.684

СОРБЕНТЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ХИМИЧЕСКОЙ И НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Необходимость сохранения качества окружающей природной среды требует кардинального повышения экологической безопасности производства. Минимизировать негативное антропогенное воздействие на биосферу можно как в результате перехода к новым технологическим процессам, отличающимся пониженными расходными коэффициентами по сырьевым и энергетическим ресурсам (соответственно, низкими удельными показателями по отходам, сточным водам и газовым выбросам), так и за счет эффективной очистки стоков и газовых выбросов, а также утилизации отходов хозяйственной деятельности.

Пример передовых зарубежных химических производств показывает, что осуществление первого варианта требует значительных финансовых вложений. Переработка отходов промышленного производства позволяет уменьшить техногенное воздействие на биосферу при значительно меньших затратах. Это может быть достигнуто в результате использования отходов производства в качестве вторичных материальных ресурсов. В условиях возрастающего дефицита углеводородного сырья и опережающего роста цен на электроэнергию именно увеличение степени рационального использования материальных и энергетических ресурсов может оказаться наиболее решающим фактором в решении проблемы одновременного повышения экономической эффективности и экологической безопасности производства.

Так, для производства хлорорганических соединений расходуется более 75 % получаемого хлора (объем мирового производства около 50 млн. т/год), дешевого и доступного ресурса, запасы которого практически не ограничены. Эти вещества широко используются в качестве мономеров, антипиренов, растворителей, полупродуктов для синтеза красителей и лекарственных веществ и др. Их производство сопряжено с образованием отходов, общее количество которых в мире оценивается величиной в 2 млн. т/год. Хлорорганические отходы (ХОО) содержат компоненты, относящиеся к веществам 1-го и 2-го классов опасности, и поэтому представляют опасность в экологическом отношении.

Иркутская область насыщена предприятиями химии и нефтехимии, большинство из которых расположены в зоне действия ВСЖД, предприятия которой неизбежно подвергаются воздействию техногенных факторов указанных производств. Например, в Иркутской области сосредоточены значительные мощности производства хлорорганических продуктов, прежде всего винилхлорида — 250 тыс. т/год («Саянскхимпласт») и эпихлоргидрина «Усольехимром» — 33 тыс. т/год. Производство указанных продуктов сопряжено с образованием отходов (кубовых остатков), являющихся сложными смесями хлорорганических продуктов и содержащих вещества второго класса опасности. При этом выход отходов на 1 т целевого продукта составляет 0.038 и 0.40 т для винилхлорида и эпихлоргидрина, соответственно. С учетом вышеуказанных мощностей производств ежегодное количество отходов может достигать для винилхлорида 9.5 тыс. т, а для эпихлоргидрина — 13.2 тыс. т.

В настоящее время отходы производства винилхлорида закачиваются в подземную камеру отработанной солевой скважины (небольшая часть сжигается), а отходы эпихлоргидрина полностью поступают на огневое обезвреживание. Сжигание хлорорганических веществ приводит к неизбежному загрязнению атмосферы хлористым водородом (также возможно образование более токсичных про-

дуктов: хлора, фосгена и даже диоксинов). Так, при сжигании отходов эпихлоргирина ежегодный выброс только хлористого водорода составит величину порядка 14 тыс. т. Это неизбежно приводит к систематическому превышению нормативов содержания хлористого водорода в воздухе городов Усолье-Сибирское и Зима и, соответственно, в зоне действия предприятий ВСЖД.

Для утилизации и обезвреживания ХОО в общем случае могут быть использованы: регенерация, сжигание, плазмохимическое разложение, химическая переработка (различные варианты исчерпывающего хлорирования или гидрирования) и захоронение. Однако до настоящего времени в мировой (и отечественной) промышленной практике применяются преимущественно огневое обезвреживание или захоронение в подземные горизонты. Оба эти пути опасны в экологическом отношении и допустимы только в качестве временных мероприятий.

При сжигании ХОО практически весь хлор выделяется в атмосферу в виде хлористого водорода. Следствием этого оказываются печально известные «кислотные дожди». Однако основной вклад в снижение pH атмосферных осадков вносят соединения серы. Различными отраслями промышленности, теплоэнергетикой и транспортом в атмосферу выбрасывается ежегодно более 100 млн. т соединений серы, что уже превысило природную эмиссию. При этом, с одной стороны, известно большое число апробированных технических решений, позволяющих извлечь соединения серы из различных газовых выбросов, а с другой стороны, встает вопрос о путях ее утилизации.

Так, переработка нефти Западно-Сибирских месторождений, осуществляемая Ангарской нефтехимической компанией, неизбежно связана с удалением серы из углеводородного сырья. Образующийся при этом сероводород частично перерабатывается в серную кислоту, а при малом содержании его в газовых потоках (например, при пиролизе прямогонного бензина с получением этилена, пропилена и бензола) поступает на щелочную абсорбцию с образованием неутилизируемых сернистых щелоков, являющихся постоянным источником загрязнения атмосферы.

Основным направлением использования выделенных соединений серы во всем мире до сих пор остается переработка в серную кислоту, гипс или сульфат аммония. Спрос на указанные продукты в настоящее время значительно ниже предложения. Кроме того, поскольку сера выделяется при очистке природного газа и продуктов переработки нефти, объемы выпуска серы не зависят от спроса на нее. Использование серы для производства полимерных материалов может явиться одним из путей решения этой проблемы, что позволит одновременно сократить расход углеводородного сырья, которое становиться все более дефицитным.

Сера и ее соединения играют достаточно важную роль в производстве высокомолекулярных продуктов, но в большинстве случаев они являются вспомогательными, а не основными составляющими. В промышленности полимерных материалов сера (или ее соединения) применяется, в основном, при вулканизации каучуков, а также в производстве хлорсульфированного полиэтилена, полисульфидных синтетических каучуков (тиоколов) и катионитов.

Предлагается вариант одновременной переработки ХОО и серосодержащих отходов нефтехимии. В основу процесса положена реакция водного раствора полисульфида натрия (преимущественно тетрасульфида) со смесью хлорорганических соединений (кубовыми остатками производства хлорорганических продуктов). В результате многокомпонентной интерполиконденсации, протекающей на границе раздела фаз образуется серосодержащий полимерный продукт в виде порошка, гранул или резиноподобной крошки. В качестве низкомолекулярного продукта сополиконденсации образуется хлорид натрия.

Процесс переработки отходов включает следующие стадии: приготовление осерняющего агента (раствора полисульфида натрия), сополиконденсация хлорорганических отходов с полисульфидом натрия, осаждение полимерного продукта в результате трехкратного разбавления реакционной смеси водой и подкисления до pH 3-4, отделения полимера от водной фазы на центрифуге или нутч-фильтре и сушку полимерного продукта. Основные технологические параметры процесса переработки отходов: температура 80-90 $^{\circ}C$, продолжительность 4-6 часов, соотношение полисульфид натрия: хлорорганические отходы 20-30 моль/кг.

Предложено генерирование осерняющего реагента (полисульфид натрия) произво-

дить взаимодействием технического сульфида натрия с элементной (газовой) серой. В известных ранее работах для этих целей использовали едкий натр (каустическую соду), что обуславливало неизбежную потерю 25-50 % используемой серы вследствие образования тиосульфата натрия, и, соответственно, увеличение количества солевых стоков. Подавление образование тиосульфата натрия введением в реакционную систему гидразингидрата — высоко токсичного (1-й класс опасности) и дорогого продукта приводило 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.

Опытная проверка процессов осернения ХОО на примере отходов ряда хлорорганических производств (винилхлорида, эпихлоргидрина) показала возможность связывания в макромолекулы полимерных продуктов практически любых органических полихлоридов, включая такие фракции, которые вследствие высокого содержания хлора (80 %) не могут подвергаться огневому обезвреживанию. Свободные хлорорганические соединения в реакционной смеси по окончании процесса методом ГЖХ не обнаруживаются.

Процесс осернения легко адаптируется к изменению состава ХОО. В тех случаях, когда в смеси в значимых количествах присутствуют соединения, в которых атомы хлора обладают малой реакционной способностью, поскольку они связаны с бензольным кольцом (гексахлорбензол) или с атомом углерода при двойной связи (тетрахлорэтилен), их вовлечение в реакцию обеспечивает применение катализаторов межфазного переноса. В качестве таких межфазных катализаторов предложены продукты отечественной промышленности.

Получаемые по предлагаемому процессу серосодержащие полимерные продукты (50-80 % серы) являются термопластами. Изменение состава отходов сказывается, прежде всего, на внешнем виде полимерного продукта и способности к эластическим деформациям.

Если, в составе ХОО преобладают дихлоралканы, то в ходе процесса образуются каучукоподобные полимерные продукты, аналогичные тиоколам. По данным термомеханического метода исследования, с увеличением степени замещения хлора температура текучести этих продуктов возрастает при постоянстве температуры стеклования, то есть происходит расширение температурного интервала эластического состояния, что характерно для полимергомологов.

Преобладание соединений, содержащих три (и более) атома хлора, или хлорароматических производных приводит к образованию порошкообразных полимерных продуктов. С увеличением степени замещения хлора повышается не только температура текучести, но и температура стеклования полимерных продуктов, что свидетельствует об изменении химического строения цепей полимерного продукта (переход от линейных макромолекул к циклоцепным, или лестничным). При этом увеличение степени замещения хлора (соответственно, и повышение доли циклоцепных фрагментов в макромолекулах продуктов) приводит к вырождению эластического состояния, так как температура стеклования возрастает более быстрыми темпами, чем температура текучести.

Серосодержащие полимерные продукты совместимы с поливинилхлоридом (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 этих полимеров в битумы повышает теплостойкость материала (на 20 °С) без увеличения хрупкости. Обычный способ повышения теплостойкости нефтяных битумов продуванием воздуха через его расплав неизбежно сопровождается заметным увеличением хрупкости.

Полимерные продукты, полученные осернением ХОО, эффективно удаляют ртуть и ее

соединения из водных и газовых сред. Емкость этих полимеров составляет 150-680 мг ртути на 1 г полимера, что существенно превышает емкость сорбентов на основе активированного угля, используемых в действующих природоохранных процессах. При этом найдены условия процесса переработки ХОО, обеспечивающие получение гранулированного продукта (3-5 мм) на стадии синтеза.

Следует отметить, что в динамическом режиме эффективность сорбции оказывается выше (на 15-20 %), чем в аналогичных условиях в статическом режиме. При этом эффективность удаления из водных сред сулемы, которая отличается крайне низкой степенью диссоциации в водных растворах, одним и тем же образцом сорбента на 25-30 % выше по сравнению с нитратом ртути, который диссоциирован практически нацело. Вероятно поэтому образцы полимерных продуктов, не отмытые полностью от хлорида натрия (низкомолекулярного сопродукта процесса переработки) показали более высокую эффективность при сорбции нитрата ртути из водных растворов. Тот же полимерный продукт после полного удаления примеси хлорида натрия (контроль с помощью азотнокислого серебра) снижает эффективность сорбции нитрата ртути на 8-12 %. При сорбции сулемы присутствие примеси хлорида натрия практически не оказывает влияния на эффективность процесса сорбции.

Сорбция из водных сред солей ртути, а также солей меди и цинка обусловлена наличием в полимерных продуктах полисульфидных группировок ($-S_m-$), обладающих ярко выраженной способностью к образованию координационных связей с ионами и атомами тяжелых металлов. При этом эффективность сорбции одного и того же металла возрастает с увеличением содержания в полимерном продукте серы до 62-68 %, Указанный факт, по-видимому, объясняется переходом от линейной структуры молекул полимерного продукта к циклоцепной с увеличением степени замещения хлора в остатках хлорорганических соединений. Циклический фрагмент такого полимерного продукта включает два атома углерода, соединенных цепочками из трех-четырех атомов серы, что позволяет его рассматривать как серосодержащий аналог краун-эфиров, являющихся эффективными сорбентами различных металлов. Однако в молекуле краун-эфира атомы кислорода обязательно чередуются с атомами углерода, поскольку группировка $-O-O-$ (перекисная цепочка) крайне неустойчива. Высокая стабильность связей $S-S$, уступающих по прочности среди связей элемент – элемент только углерод – углеродным связям.

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),

-строительные битумы и дорожные асфальтобетонные покрытия,

-антикоррозионные покрытия металлов,

-кислотостойкие пластики пониженной горючести.

Шумилова Л.В.

УДК 622.342

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЗОЛОТА ГЕТЕРОТРОФНЫМИ БАКТЕРИЯМИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОМБИНИРОВАННЫХ МЕТОДОВ ОКИСЛЕНИЯ

Основными проблемами извлечения дисперсного золота из руд и техногенных отходов при использовании химических способов обогащения являются: обеспечение к нему доступа выщелачивающего раствора; выбор эффективной системы окислителей и комплексообразователей; решение вопросов с последовательным и продолжительным выходом золота в жидкую фазу.

Наиболее сложно извлечь дисперсное золото из сульфидных и сульфосолевых минералов, особенно при тонковкрапленной структуре руд и наличии в рудах глинистого «цемента», теллуридов и органического субстрата.

В первую очередь, это связано с относительно прочными химическими связями золота с соответствующими элементами, низкой проницаемостью минеральной матрицы для растворов, а во-вторых, вследствие того, что кислородсодержащие компоненты раствора и цианиды реагируют в данном случае не только с железом, но и с серой, образуя роданиды.

Но и в этом случае, используя для окисления сульфидной матрицы активный кислород и (или) хлорсодержащие окислители, можно обеспечить достаточно высокие (свыше 90%) показатели извлечения золота при последующем цианировании.

При подготовке к цианированию сульфидных и сульфидно-сульфосолевых золотосодержащих руд все в больших масштабах начинает использоваться бактериальное (био) окисление.

Бактериально-химическое вскрытие упорных золотосодержащих руд и концентратов как метод подготовки их к цианированию относится к числу наиболее «молодых» технологических разработок в золотодобывающей промышленности. Метод основан на использовании давно установленного факта, что в присутствии микроорганизмов, в частности, автотрофных бактерий типа «Тиобациллус феррооксиденс» [Thibacillus ferrooxidans, T.f.] золотосодержащие сульфиды железа окисляются до конечных химических соединений (сульфат или арсенат железа, серная кислота) без применения высоких давлений и температур. Освобождающееся при этом золото становится доступным для выщелачивания цианистыми растворами. Основным разработчиком биогидрометаллургической технологии переработки пиритных и мышьякопиритных руд (концентратов) за рубежом является корпорация «Дженкор», ЮАР [1].

В последние годы исследования по биохимическому вскрытию упорных золото- и серебросодержащих руд (концентратов) интенсивно проводятся в институтах «Иргиредмент», ЦНИГРИ и других научно - исследовательских центрах России и стран СНГ.

В 1986-1992 гг. построены и введены в эксплуатацию первые промышленные и опытно-промышленные биогидрометаллургические установки по переработке мышьяксодержащих золотых концентратов и руд в шести странах (ЮАР, США, Канада, Австралия, Бразилия, Зимбабве), относящихся к числу основных производителей золота в мире [2, 3, 4].

Бактериальное выщелачивание мышьяка из золото-мышьякового концентрата, показало, что максимальная скорость биоокисления сульфидов железа бактериями T.f. достигается при соблюдении следующих режимов: окислительно-восстановительный потенциал

среды 0,4-0,8 В; pH = 0,8-3,0; температура пульпы 28-40°С; плотность пульпы 10-20% твердого; скорость окисления по Fe (II) 2-5 г/л в час [5].

При многих преимуществах этого метода, возникает ряд технических проблем, обусловленных длительностью процесса (до трех суток и более) и неполнотой вскрытия золотосодержащей матрицы.

С целью интенсификации процесса окисления упорных руд, сульфидно-сульфосолевых концентратов и повышения извлечения золота творческим коллективом (ЧФ ИГД СО РАН) авторов было предложено осуществлять комбинированное окисление — предварительное физико-химическое и пследовательное биоокисление, а для повышения извлечения золота из окисленного концентрата — двухстадийное сорбционное цианирование с использованием электроактивации пульп и контрольной электросорбцией.

Для проведения лабораторных исследований и полупромышленных испытаний комбинированной схемы окисления и электроактивационного сорбционного выщелачивания дисперсного золота из сульфидных руд месторождения Кокпатас на базе Новоийского ГМК (г. Учкудук, Узбекистан) в Читинском филиале ИГД СО РАН совместно с Читинским государственным университетом под руководством доктора технических наук А.Г. Секисова с участием инженера-химика Т.Г. Конаревой была организована творческая группа ученых (А.Ю. Лавров, Ю.И. Рубцов, Л.В. Шумилова). Нами проводились лабораторные эксперименты физико-химическим окислением электролитическим и фотолитическим кислородом и последующим биоокислением.

При геолого-технологическом исследовании минерального сырья участниками эксперимента учитывался в комплексе общий минеральный состав руд и концентратов, определяющий связь дисперсного золота с конкретным носителем и проявление сорбционных свойств, влияющих на переосаждение растворенного при цианировании золота.

Сущность идеи опережающего (до бактериального) физико-химического окисления, а затем контрольного биоокисления, заключалась в том, что на первой (предварительной) стадии электрохимической или фотоэлектрохимической обработки пульп или растворов реагентов осуществляется электросинтез или фотоэлектросинтез окисляющих реагентов. После чего ведут бактериальное окисление метастабильной перекиси водорода, гидроксил-радикала в среде H_2SO_4.

На стадии предокисления для выщелачивания сложных форм дисперсного золота из упорных сульфидных и сульфидно-углистых руд и их концентратов эффективно применение полиреагентных хлоридно-кислородно-водородных комплексов, образующихся поэтапно путем облучения прианодной зоны в ультрафиолетовом диапазоне. При этом после подкисления пульпы серной кислотой формируются перекись водорода и метастабильные комплексы активных ион-радикальных соединений кислорода и водорода.

При обосновании методики геолого-технологического тестирования руд с дисперсным золотом участники эксперимента в первую очередь исходили из результатов исследований, проведенных на базе трех золоторудных месторождений Кокпатас, Даугызтау (Узбекистан, Навоийский вилоят) и Yellow Jacket (США, штат Невада, округ Кларк) [6].

Целью геолого-технологических исследований руд месторождения Кокпатас было определение содержания в них дисперсного золота с учетом возможного нахождения его в зоне окисления в различных формах в минералах-носителях - гетите, гидрогетите, скородите, алуните, а в зоне основной золотоносной сульфидной минерализации - в пирите, арсенопирите и в углистом веществе (последний факт выяснился уже в ходе исследований).

В процессе тестирования применялись как традиционные схемы рационального анализа с последовательным растворением в щелочи и кислоте пленок и включений соответствующих минералов, так и различные окислители и комплексообразователи, в том числе полученные в результате электросинтеза и фотосинтеза для перевода в раствор дисперсного золота.

Тестирование отобранных проб руды осуществлялось в Центральной физико-химической лаборатории (ЦФХЛ) Северного рудоуправления Навоийского ГМК (г.Учкудук).

Анализировались жидкие и твердые пробы по утвержденным методикам. Замеры концентраций золота в жидкой фазе производились на двух атомных спектрофотометрах AA-SCAN (США) и С-115 (Украина). Твердая проба анализировалась пробирным и атомно-абсорбционным методами.

При активационном режиме выщелачивания золота в зависимости от вещественного состава руды в качестве основных реагентов

использовались: цианид натрия; щелочь (каустическая сода); перманганат калия; хлорид натрия (поваренная соль); гипохлорит натрия; молекулярный хлор; соляная кислота.

Эксперименты проводились в лабораторных пачуках (НЖС) объемом 30л с перфорированными трубчатыми электродами, подведенными через изолятор в донной части корпуса, одновременно выполняющими функцию аэратора. В зависимости от используемых реагентов параметры напряжения варьировали от n до 20В.

Лабораторный комплекс для технологического тестирования руд с предварительным окислением предполагаемых матриц дисперсного золота включил следующие компоненты:

- лабораторный пачук емкостью 30л с трубчатыми электродами, выполняющими также и функцию воздуховодов;
- кварцевую колбу с фторопластовой (химически инертной) пробкой, через которую были введены подводящая и отводящая стеклянные трубки;
- компрессор и электрических шкаф с выпрямителем и регулируемым блоком;
- ультрафиолетовую лампу ДРТ-230, которая устанавливалась над колбой (на расстоянии порядка 15см). Лампа использовалась и для прямого облучения пульп, в этом варианте она закреплялась на двух штативах.

Результаты исследований позволили выделить две формы золота: а) легкоцианируемую (образующую циановый комплекс при стандартных условиях); б) упорную, требующую дополнительного активационного воздействия на минеральную матрицу и элементы, непосредственно связанные с дисперсным золотом.

При проведении технологического тестирования сульфидных и сульфидно-углистых руд, необходимо было окислить как саму минеральную матрицу, так и предполагаемую органическую составляющую, поэтому пробы подвергались более сложной обработке, чем окисленные. Глубокое окисление минеральной массы осуществлялось с использованием активных хлор и кислород содержащих пероксидно - гидроксидных и пероксидно - гидроксильных комплексов, полученных в результате электрохимических и фотохимических процессов.

В лаборатории (ЦФХЛ Северного РУ) были смоделированы технологические схемы с электроактивацией пульпы основных реагентов и фотоактивацией (в варианте прямого облучения и озоновым барботажем) вспомогательных реагентов на реальной пульпе (рис.1-2).

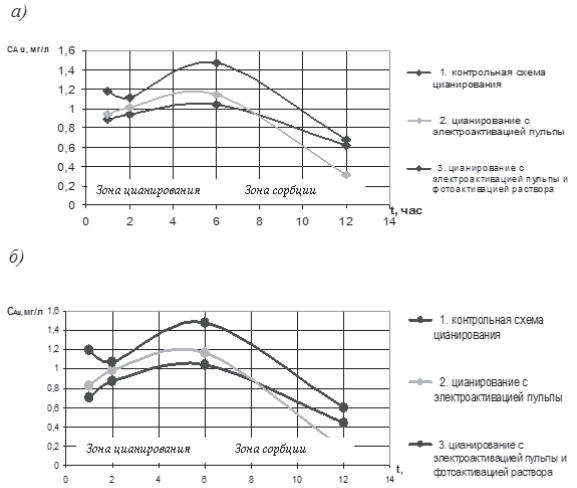


Рис.1. Изменение концентрации золота в жидкой фазе во времени: а)с использованием атомного спекрофотометра SCAN); б) с использованием атомного спекрофотометра С-115

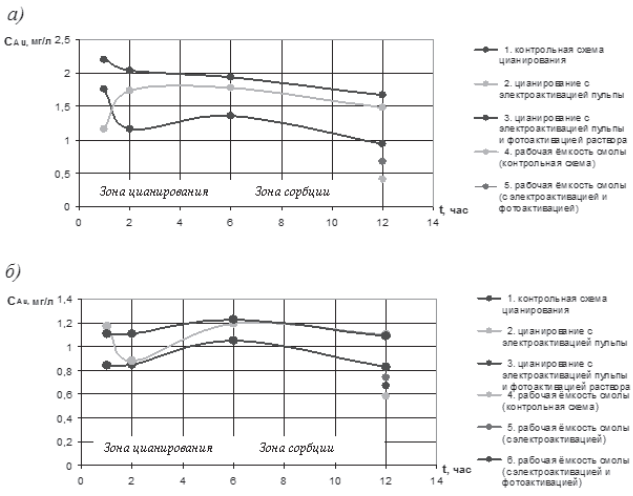


Рис. 2. Изменение концентрации золота в твёрдой фазе во времени: а)с использованием пробирного анализа; б) с использованием атомно - абсорбционного анализа

Наибольший эффект выхода золота в жидкую фазу наблюдается при электроактивации пульпы и фотоактивации реагентов, а по критерию увеличения рабочей емкости смолы при электроактивации пульпы. Такая разница в содержании золота в пульпе и на сорбенте свидетельствует о возможностях дополнительного извлечения металла в процессе сорбционного выщелачивания [6].

При проведении анализов с использованием методов глубокого окисления минеральной матрицы обнаруживается «дополнительное» или сверхбалансовое золото.

Кажущееся несоответствие данных анализов (баланс металла по жидкой и твердой фазам относительно входной пробы, существенная разница данных при замерах по жидкой фазе различными методами) только подтверждает факт наличия нескольких форм нахождения дисперсного золота в рудах месторождения.

Следовательно, технология цианирования с электроактивацией пульпы и фотоактивацией раствора реагентов ультрафиолетовым светом в прианодной зоне является потенциально эффективной для переработки упорных золотосодержащих руд и при соответствующем аппаратурном оформлении может быть успешно реализована на горных полигонах выщелачивания.

Двухстадийная схема окисления концентрата в полиреагентной сернокислотной среде осуществлялась в лабораторных реакторах и в экспериментальной кювете.

При переработке бедных руд и низкосортных концентратов (с содержанием Au<50г/т) в качестве окислителя использовалась серная кислота и продукты фотолиза и электролиза. Полученную активационную пульпу, в этом случае подвергалась второй стадии окисления — биоокислению без отмывки и нейтрализации остаточного хлора.

Для проведения полупромышленных испытаний двухстадийной схемы электроактивационного выщелачивания дисперсного золота из сульфидных руд была испытана комбинированная (с физико-химическим и бактериальным окислением) технологическая схема.

Пирит-арсенопиритовая руда месторождения Кокпатас с содержанием золота 2,9 г/т и мышьяка 0,52% перерабатывалась по технологической схеме обогащения, включающей рудоподготовку и флотацию, с получением коллективного флотоконцентрата с содержанием золота 25г/т.

Физико-химическое окисление электролетическим и фото - электролитическим кислородом проводилось в подготовленной Н-катионированием воде с использованием пероксидно-сульфатного комплекса, продуцируемого фотоэлектролизом при pH = 2,5. Предокисление проводилось в кюветном варианте, причем в качестве кюветы планировалось использовать свободный сгуститель. Технологическая схема переработки пирит-арсенопиритовых золотосодержащих концентратов с применением комбинированных методов окисления представлена на рис.3.

Рис.3. Технологическая схема переработки пирит-арсенопиритовых золотосодержащих концентратов с применением комбинированных методов окисления

Первый этап окисления (предокисление) — активационное выщелачивание дисперсного золота с использованием полиреагентных схем. Для этого используется первичный окисляющий раствор, полученный в результате фотохимического и электрохимического синтеза из первичных газов (воздуха), раствора серной кислоты и воды. Полиреагентные комплексы образуются поэтапно путем облучения прианодной зоны в ультрафиолетовом диапазоне. При этом формируется перекись водорода и метастабильные комплексы активных ион-радикальных соединений кислорода и водорода. Полученным полиреагентным раствором, который является в совокупности активным окислителем и комплексообразователем, обрабатывают минеральную массу.

При воздействии полиреагентного комплекса интенсивно протекают физико-химические процессы в жидкой и твердой фазах, что приводит к первичному окислению сульдной матрицы, переходу ее поверхностных слоев, преимущественно в области активных центров, в сульфатную форму и частично в сульфидную форму, что в последующем создает благоприятные условия для бактериального окисления.

После фотоэлектроактивационной обработки руды, проводился второй этап окисления — биоокисление. Биовыщелачивание осуществляют в сернокислой среде с использованием штаммов железо, - медь - и серуокисляющих бактерий. Перед биоокислением проводили предварительную адаптацию бактерий к выщелачиваемому сырью. Применение адаптированных штаммов микроорганизмов является одним из существенных факторов интенсификации окислительных бактериальных процессов и позволяет достаточно полно извлекать золото из минерального сырья. Перевод сульфитной матрицы в сульфатную форму происходит в результате биокаталитического ускорения реакций, протекающих достаточно медленно в обычных условиях.

Для обеспечения активной деятельности бактерий, особенно в начальный период биоокислительного процесса, в выщелачивающую среду вводили серную кислоту, питательные добавки и кислород (воздух).

Обязательной также является предварительная адаптация бактерий к выщелачиваемому сырью. Применение адаптированных штаммов микроорганизмов является одним из существенных факторов интенсификации окислительных бактериальных процессов и дает возможность осуществлять эти процессы при достаточно высоких концентрациях в растворах меди, цинка, мышьяка, серебра, железа (III) и других ингибирующих примесей и производить достаточно полное извлечение этих металлов из руд [7]. Бактерии водили на шламовом носителе, который формировали в процессе дробления. Развитие бактерий на шламовом носителе происходит относительной быстро и в тоже время позволяет сконцентрировать бактерии до ввода в основную выщелачиваемую массу, что приводит к быстрому развитию очагов роста бактерий в минеральной массе.

При бактериальном окислении последовательно осуществляются следующие процессы: абсорбция микроорганизмов на поверхности минерала и горной породы; деструкция кристаллической решетки; транспорт в клетку минеральных элементов; внутриклеточное окисление.

Процесс бактериально-химического окисления пирита и арсенопирита в присутствии серу — и железоокисляющих автотрофных бактерий типа T.f. протекает в соответствии со следующими химическими реакциями:

$$2FeS_2 + 7O_2 + 2H_2O \rightarrow 2FeSO_4 + 2H_2SO_4;$$

$$2FeS_2 + 2H_2SO_4 + O_2 \rightarrow 2FeSO_4 + 2H_2O + 4S^0;$$

$$4FeSO_4 + 2H_2SO_4 + O_2 \xrightarrow{T.f.} 2Fe_2(SO_4)_3 + 2H_2O;$$

$$2S^0 + 3O_2 + 2H_2SO_4 \xrightarrow{T.f.} 2H_2SO_4;$$

$$FeS_2 + Fe_2(SO_4)_3 + 8H_2O \xrightarrow{T.f.} 3FeSO_4 + 2S^0;$$

$$2FeS_2 + 7{,}5\,O_2 \xrightarrow{T.f.} Fe_2(S0_4)_3 3FeSO_4 + H_2SO_4;$$

$$2FeAsS_2 + 6{,}5\,O_2 + 2H_2O \rightarrow 2H_3AsO_4 + 2FeS0_4;$$

$$2FeS0_4 + 2H_2SO_4 + O_2 \xrightarrow{T.f.} 2Fe_2(SO_4)_3 + 2H_2O;$$

$$2FeAsS + 2Fe_2(SO_4)_3 + 2H_2O + 2{,}5\,O_2 \rightarrow 2H_3AsO_4 + 6FeSO_4 + 2S^0;$$

$$2S^0 + 3O_2 + 2H_2O \xrightarrow{T.f.} 2H_2SO_4$$

$$2H_3AsO_4 + Fe_2(SO_4)_3 \rightarrow Fe_3AsO_4 + 3H_2SO_4$$

$$2FeAsS_2 + 7O_2 + 2H_2O \xrightarrow{T.f.} 2FeAsO_4 + 2H_2SO_4$$

В соответствии с приведенными реакциями роль бактерий сводится по существу к

ускорению окисления промежуточных продуктов разложения сульфидов ($FeS0_4$, S^0) до конечных химических соединений: $Fe_2(SO_4)_3$ и H_2SO_4. Иными словами, имеет место «непрямое» окисление сульфидов, активное участие в котором принимают микробные метаболиты: H_2SO_4 и $Fe_2(SO_4)_3$.

Далее последовательно проводились следующие технологические операции: нейтрализация с добавлением NaOH или CaO; кондиционирование до pH=2,5; введение цианидов и двухстадийное сорбционное выщелачивание.

Следует отметить, что по результатам параллельно проведенных экспериментальных исследований Центральной физико-химической лабораторией ГМЗ-3 Навоийского ГМК (г.Учкудук) с использованием одностадийной схемы биоокисления с последующим цианированием, получено содержание золота в хвостах в пределах 5 г/т, а по разработанной технологической схеме с двойным окислением и двухстадийной сорбцией — 1,7 г/т. После двухстадийного окисления последующее сорбционное цианирование позволяет извлечь на 20% золота больше, чем после простого биоокисления.

Таким образом, экспериментальные исследования выщелачивания золота гетеротрофными бактериями при использовании комбинированных методов окисления показали, что для эффективной подготовки к цианированию сульфидных руд и концентратов окисление целесообразно осуществлять в два этапа. Первый этап - первичное окисление поверхности сульфидных минералов физико-химическим методом с развитием контактной поверхности и формировании микроучастков с элементной серой. Второй этап - последующее доокисление бактериями, которые начинают свою жизнедеятельность на подготовленной поверхности, используя элементную серу для продуцирования сульфатов и ионов водорода и продуцирующих трех валентное железо.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Description of biotechnology expertise used in the treatment of refractory gold ores //Gencor metallurgical engineering department.- 1988, Febr.- 33 p.
2. Лодейщиков, В.В. Состояние и тенденции развития технологии извлечения золота из упорных руд и концентратов / В.В. Лодейщиков // Цв. металлургия.-1993.- № 2.- С.4-9.
3. Van Aswegen P.S.; Marais M.J., Haines A. K. Design and operation of a commercial bacterial oxidation plant at Fairview.- 12 p.
4. Brier1ey, C. BacTech's Thermophilic Biooxidation Plan at Youanmi Mine: An Update on Performance and Cost // Randol Gold Forums 96 (21-24 Apr., Olimpic Valley, Cat., 1996). - P.291-294.
5. Z. Yongzhu Biooxidation of two arsenical refractory gold concentrates and gold cyanidation / Z. Yongzhu, L. Yiyuan, Z. Tiancong, Q.Rongqing// Extract. Met. Gold and Base Metals.- Melbourne, 1992.- P.345-348.
6. Секисов, А.Г. Дисперсное золото. Геологические и технологические аспекты. / А.Г. Секисов. Н.В. Зыков. В.С. Королев. — Чита: ЧитГУ, 2007. - 269 с.
7. Полькин, С.И. Современное состояние и перспективы развития процессов микробиологического выщелачивания / Полькин С.И., Адамов Э.В., Панин В.В. - СЭВ 1980.- № 9.- С.20-26.

Шастин В.И.

УДК 621.375.8

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

В последние годы одновременно с ростом промышленного потенциала начали расширяться масштабы применения технологических процессов обработки материалов. На предприятиях отрасли вновь организуются лазерные технологические центры, активно ведутся работы по их оснащению и внедрению технологий лазерной обработки в производстве. Наиболее широкое промышленное применение в отечественном машиностроении отмечается в авиационной и автомобильной промышленности и специальных отраслях, связанных с применением материалов, которые трудно поддаются обработке традиционными методами.

Более широкое внедрение лазерных технологий сдерживается в основном отсутствием надежных технологических лазеров отечественного производства. Это обстоятельство, несмотря на значительные затраты, вынуждает промышленные предприятия приобретать лазерную технику за рубежом, преимущественно в виде лазерных технологических комплексов, таких как, TCL 2530 (Германия), Хебр (Болгария) и т.п., что дополнительно подтверждает актуальность проблемы и высокую эффективность перспективных методов обработки материалов. Кроме возможности обработки практически любых материалов с высоким качеством и производительностью, благодаря уникальным свойствам лазерного излучения обеспечивается высокий уровень трудо- и энергосбережения, а в ряде случаев данный инструмент может оказаться единственным для решения важных технологических задач.

Немаловажное значение, в аспекте активизации работ по промышленному внедрению лазерных технологий, имеет научный потенциал отечественных ученых, приобретенный в 60-90-е годы прошлого века, при активном изучении процессов взаимодействия лазерного излучения с веществом. Значительная часть фундаментальных работ Российских ученых в данном направлении остается до настоящего времени невостребованной, но, в то же время, имеющей важное научно-практическое значение.

Учитывая это, важно уже сейчас прогнозировать области и объемы внедрения лазерных технологий, выделив из них наиболее перспективные, предусматривающие использование надежных технологических лазеров. К последним традиционно, с учетом практического опыта, относят CO_2 – лазеры, обладающие широким диапазоном регулировки мощности импульсно-периодического и непрерывного режимов работы. Вместе с тем, в последнее время становится очевидным, что на смену этим моделям идут твердотельные лазеры с диодной накачкой и, вполне вероятно, волоконные лазеры.

К наиболее практически значимым видам лазерной обработки в общем машиностроении традиционно относят термообработку, резку, сварку, наплавку и поверхностное легирование, как наиболее изученные и апробированные на практике процессы. Учитывая особенности лазерного излучения все эти технологические приемы можно осуществлять на универсальной лазерной установке (комплексе) при незначительной перенастройке, обеспечив оптимальные режимы обработки и подачу в ряде случаев в рабочую зону различных сред и материалов. Все эти виды обработки могут осуществляться минимальным числом исполнителей на одном участке предприятия, а иногда на одном технологическом комплексе.

Данное обстоятельство может быть подтверждено диаграммой примерных показателей эффективного использования различных технологических процессов лазерной обработки материалов взависимости от уровня энергетических параметров лазерных технологических установок (ЛТУ) (Рис.1) на примере одного их ведущих предприятий авиационной промышленности.

Кроме рассмотренных на диаграмме перспективных методов лазерной обработки в области производства и ремонта авиатехники, не менее актуальным является применение лазерных контрольно-измерительных центрирующих и диагностических систем и оборудования. Данное направление обусловлено не только уникальными свойствами лазерного излучения малой мощности, таких как: высокая монохроматичность, когерентность, поляризация и узкая направленность, но и конструктивными особенностями этих приборов. Они позволяют выстраивать лазеры в измерительные и центрирующие системы в качестве высокоразрешающих датчиков контроля; удобно и эффективно передавать световую энергию к объекту контроля или в зону технологической обработки; автоматически управлять процессом по оптимальной программе и т.п. Их применение становится все более эффективным практически на всех этапах создания самолета начиная с проектирования и кончая серийным производством.

Наиболее важными и перспективными из них являются:

- моделирование и воспроизведение объемных форм и размеров деталей узлов и агрегатов самолетов с целью бесплазовой увязки размеров;

- монтаж технологической оснастки и её безмакетная увязка;

- неразрушающий контроль деталей на предмет выявления остаточных напряжений, усталостных микротрещин, пористости материалов и т.п.;

- бесконтактный активный контроль геометрии деталей;

- высокоразрешающий контроль чистоты топлива, гидросмеси и т.п.;

- контроль качества изготовления деталей из композиционных материалов и сотовых конструкций;

- высокоточная сборка агрегатов по координатно-фиксирующим отверстиям с базой на опорные лазерные лучи;

- разметка и увязка базовых осей на агрегатах с целью создания дополнительных сборочных баз для внестапельной сборки;

- стыковка выставление и нивелирование агрегатов самолетов и другие процессы.

Широкие возможности для совершенствования технологической подготовки производства, контроля геометрических форм, возможности регистрации и воспроизведения объёмных форм, методов хранения и обработки информации открывают такие перспективные направления, как голография и интерферометрия.

В настоящей работе наибольшее внимание уделяется технологическим процессам обработки материалов, а именно термоупрочнению повышающему работоспособность инструмента объектов обработки и лазерной наплавке, предусматривающей восстановление первоначальных размеров и форм изношенных деталей авиатехники с последующим их вторичном использовании. Повышенный

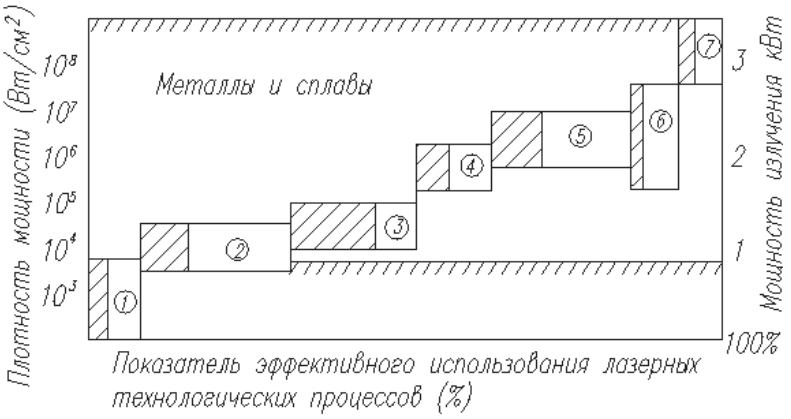


Рис. 1. Диаграмма эффективного использования лазерных технологических процессов.
1.- раскрой и резка неметаллических материалов; 2.- термообработка (закалка, отжиг, отпуск), легирование; 3.- наплавка; 4.- сварка; 5.- резка; 6.- прошивка отверстий (перфорирование); 7.- прочие виды обработки;

- примерный объем использования того или иного вида лазерной обработки материалов при изготовлении новой авиатехники;

- то же при использовании лазерной обработки в технологических процессах ремонтного профиля.

интерес к этим видам обработки материалов обусловлен на данном этапе не только наибольшими показателями их эффективного промышленного использования (см. рис.1), но и объективно существующей тенденции к сращиванию и интеграции авиастроительного и авиаремонтного профилей деятельности современных предприятий отрасли.

Среди различных видов лазерной термообработки значительный интерес представляет процесс **термоупрочнения поверхности изделий,** обусловленный высокой скоростью нагрева и охлаждения в короткий интервал времени локальной зоны обработки. Это позволяет избежать объемного разогрева объекта, минимизировать зону термического влияния, исключить деформации и коробление обрабатываемой детали или конструкции в целом. Поверхность может обрабатываться без оплавления с сохранением исходной шероховатости поверхности, или с незначительным оплавлением, улучшая при этом параметры шероховатости, снижая период прирабатываемости сопрягаемых поверхностей или наконец, с оплавлением, вызывая изменение рельефа поверхности. При этом глубина зоны закалки будет соответственно увеличиваться. Последний вариант применяется, когда кроме термоупрочнения, необходимо улучшить условия смазки сопрягаемых деталей за счет аккумулирования и создания дополнительных масляных микрообъемов в виде каналов при непрерывной лазерной обработке, либо микрократеров при импульсно-периодическом режиме обработки.

К основным параметрам лазерной закалки относятся, для импульсных ЛТУ W — энергия в импульсе (Дж); τ — длительность импульса (мс.); для лазеров непрерывного режима излучения: U- мощность излучения (Вт); V- скорость взаимного перемещения луча (м/с) относительно обрабатываемой поверхности и, общий для того и другого типов лазеров параметр $d_п$ - диаметр лазерного пятна (мм). Объединяющим эти величины параметром является величина E — плотность мощности излучения (Вт/см^2); $E = P/S_п^2 = 4P/пd_п^2$ где $S_п$ — площадь лазерного пятна (см^2). Для определения поглощенной плотности мощности q необходимо учитывать коэффициент поглощения A, тогда q = AE. При импульсной термообработке без оплавления поверхности пороговая плотность мощности излучения для различных сталей имеет значение $q_п = (22...24) \cdot 10^4$ Вт/см^2 [1], при этом максимальная температура на поверхности материала не должна превышать температуру плавления, т.е. $T_{max} \le T_{пл}$.

Принимая одномерную модель нагрева полубесконечного тела поверхностным тепловым источником с постоянной по времени интенсивностью, для расчета $q_п$ требуемой для достижения T_{max} можно принять соотношение [2]

$$q_п = T_{max} \alpha\, c\, \rho \sqrt{\pi/4dt}, \qquad (1)$$

где α — температуропроводность; c — удельная теплоемкость; ρ — плотность материала; t — время нагрева.

Для лазерной обработки непрерывным источником излучения $t = d_п/v$; $q = U/S_п$. Принимая $T_{max} = T_{пл}$ величина $q_п$ соответствует максимальной глубине закалки без оплавления поверхности, при $T_{max} > T_{пл}$ реализуется закалка с оплавлением на большую величину термоупрочненного слоя h. Величина h для различных сталей составляет 0,15...1,5 мм.

В отличие от известных процессов и методов термоупрочнения закалкой, нагрев при лазерной термообработке является не объемным, а поверхностным. Закалка осуществляется за счет мгновенного нагрева и охлаждения со сверхкритической скоростью в результате теплоотвода во внутренние слои металла (до 10^4 град/с). Формирование структуры при лазерном термоупрочнении имеет свои особенности, поскольку механизм лазерной закалки заключается, в основном, в создании структуры с повышенной дефектностью. В большинстве термоупрочненных материалов наблюдается измельчение зерна (аморфизация), фиксируется более высокая твердость поверхностного слоя по сравнению с традиционными методами термической обработки, снижается коэффициент трения, и, одновременно, повышаются износостойкость, коррозионная и усталостная прочность. При лазерной закалке, как правило, обрабатывается не вся рабочая поверхность, а только ее часть, подверженная износу, что позволяет снизить энергетические затраты на обработку. При этом, практически исключается вероятность образования объемных деформаций и необходимость последующей дополнительной термической обработки (отпуска).

Лазерная закалка эффективно применяется для большинства железоуглеродистых и легированных сталей, чугунов и других известных сплавов. При этом, как доказано многими исследованиями [3,4,5], износостойкость термоупрочненных материалов может увеличиваться в 10-12 раз для чугунов, в 3-8 раз для углеродистых и легированных сталей в зависимости от их состава. Такого же уровня повышения износостойкости можно достичь и для ряда цветных сплавов.

Легкая управляемость излучением лазера в пространстве позволяет вести обработку труднодоступных зон поверхности обрабатываемых деталей, в том числе локальных участков, соизмеримых с диаметром сфокусированного пятна.

Важным критерием эффективности данного метода термообработки является параметр отношения площади (объема) обрабатываемых участков к общей поверхности (объему) детали. Так, при нанесении упрочняющих полос по винтовой линии гильзы цилиндра ДВС их износостойкость увеличивается в 3,5 раза без заметного снижения износа сопрягаемых деталей — поршневого кольца и самого поршня. Лазерная закалка шатунных и опорных шеек коленчатого вала ДВС, как показали испытания, позволила увеличить их ресурс в два раза. Более значительное увеличение ресурса (в 3-4 раза) достигнуто при испытании тормозных барабанов, выжимного диска сцепления и других деталей автомобильной техники. При этом обрабатываемая площадь объекта может составлять 10-15% от общей его поверхности. Использование одной ЛТУ на машиностроительном предприятии способно обеспечить термообработку нескольких миллионов деталей в год.

Как показали испытания, лазерная закалка способна повысить не только износостойкость конструкционных материалов, но и их коррозионную стойкость. Это нашло подтверждение при испытании элементов запорной арматуры в условиях влияния высокой температуры, влаги и абразива - более чем в 2 раза возрос срок их службы. Применительно для авиационных конструкционных сплавов, положительное влияние лазерная термообработка оказывает на алюминиевый сплав Д16 АТ, широко используемый для изготовления силовых элементов планера и как обшивочный материал воздушного судна. Наряду с повышением коррозионной стойкости (почти в 2 раза при испытаниях на общую коррозию), наблюдается существенное увеличение усталостной и коррозионно-усталостной долговечности - соответственно в 4 и почти в 2 раза.

Перспективность лазерного термоупрочнения конструкционных материалов, широко используемых в авиастроении, подтверждена лабораторными и стендовыми испытаниями целого ряда узлов и деталей, наиболее подверженных износу и разрушениям. К ним относятся детали и узлы шасси самолета, трансмиссии вертолета, узлов поршневого и газотурбинного двигателей, подшипниковых, шлицевых и зубчатых элементов конструкций. На основе изучения структурных и фазовых превращений в материалах, обрабатываемых лазерным излучением, сформулированы технологические рекомендации, имеется значительный статистический материал по практическому применению данного метода термоупрочнения.

Учитывая современную специфику развития отечественного авиастроения, в условиях рыночных отношений и жесткой конкуренции, предприятия отрасли неизбежно сталкиваются с проблемами восстановительного ремонта произведенной авиатехники и технологического оборудования. В этих условиях становится очевидной перспектива освоения и внедрения прогрессивных технологий восстановления изношенных деталей и узлов авиатехники. Лазерная наплавка при этом может оказаться вполне конкурентоспособной основой в освоении и развитии авиаремонтного профиля предприятия.

Практика восстановления изношенных деталей в ремонтном производстве автомобилей и других машин подтвердила перспективность данного направления. Авиаремонтная отрасль, не смотря на сложности межведомственных согласований, достигла так же заметного прогресса в освоении восстановительных технологических процессов с применением лазерной наплавки. Целый ряд восстановленных деталей авиатехники, кроме стендовых, прошли летные испытания, технологии восстановления этим методом широко внедряются в серийное производство. На рис.2 показаны ряд деталей авиатехники восстановленных методом лазерной наплавки.

Актуальность развития данного направления становится ещё более очевидной с учетом того, что современная отечественная авиатехника в большинстве своем морально и физически устарела и требует значительных

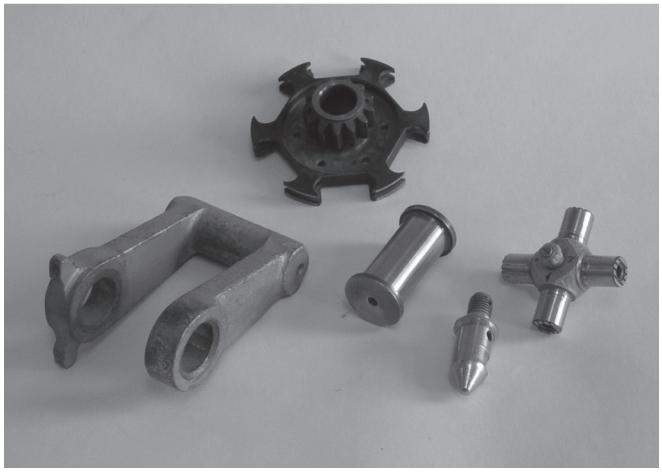


Рис.2 Детали авиатехники восстановленные методом порошковой лазерной наплавки.

затрат на её восстановление. Известно, что около 50% объема расходов при ремонте, составляют расходы на приобретение запасных частей, основная часть которых поступает на замену изношенных деталей [6]. Существенно уменьшить объем расходов представляется возможным путем восстановления ранее эксплуатировавшихся деталей. Это позволит снизить расходы на запасные части более чем в 1,5 раза, благодаря использованию прогрессивных методов восстановления. Кроме этого можно сэкономить сотни тонн высококачественного металла и значительно сократить трудозатраты на производство запасных частей.

Исследованиями доказано, что показатели работоспособности и износостойкости восстановленных **методом лазерной наплавки** деталей зачастую могут в несколько раз превышают эти показатели новых деталей, обусловливая этим дополнительный резерв снижения трудозатрат на восстановительные работы и повышение уровня надежности авиатехники. К основным преимуществам лазерной наплавки по сравнению с традиционными методами относятся, значительное снижение остаточных напряжений и деформаций восстанавливаемых поверхностей благодаря той же локальности и кратковременности воздействия источника нагрева, а также высокой скорости охлаждения за счет теплоотвода вглубь материала.

Кроме этого, высокая концентрация энергии в зоне нагрева дает возможность вести процесс со значительной скоростью обработки. Обеспечивается возможность формирования наплавленного слоя с заданными свойствами, за счет подбора соответствующего присадочного материала при незначительном подплавлении основы и низкого коэффициента перемешивания этих составляющих; что, в свою очередь, обуславливает высокую прочность их соединения и повышенную износостойкость. Также, достигается минимальное термическое влияние на основу металла, что особенно важно для материалов, претерпевающих структурные и фазовые превращения.

Параметры лазерной наплавки, в основном аналогичны параметрам, которыми оперируют при лазерном термоупрочнении. Наиболее важным из них, так же является плотность мощности излучения, но более высокого уровня от $4 \cdot 10^4$ до $1{,}5 \cdot 10^5$ Вт/см^2. Важной особенностью лазерной наплавки, в основном, определяющей качество восстановленного слоя является обеспечение требуемого уровня коэффициента перемешивания γ присадочного и основы металла [7]

$$\gamma = [S_0 / (S_n + S_0)] \cdot 100\%, \qquad (2)$$

где S_0 - площадь проплавленного слоя основы материала в поперечном сечении одиночного наплавочного валика; S_n — площадь валика наплавленного на основу металла.

Наилучшие прочностные и эксплуатационные свойства восстановленного слоя получены при $\gamma = 5...15\%$, используя в качестве присадочного материала самофлюсующиеся порошки системы Ni — Cr — B — Si определенного гранулометрического состава. Как показала практика, при наплавке значительных зон износа, наиболее эффективно использование технологических лазеров на диоксиде углерода непрерывного режима излучения. Для восстановления локальных участков соизмеримых с диаметром луча, например зубъев шестерен, шлицевых и резьбовых соединений и т.п. наиболее целесообразно применение импульсных технологических лазеров.

До настоящего времени процессы промышленного применения лазерной термообработки и восстановления рассматривались разобщенно и были направлены на решение отдельных задач ведомственного назначения. Происходящая сейчас на предприятиях отрасли, интеграция и объединение авиастроительного и авиаремонтного профилей производства, неизбежно определяет необходимость комплексного подхода к решению задач технологического характера. Справедливость этой концепции, на примере рассмотренных технологий становится очевидной благодаря следующему:

- промышленное применение лазерного термоупрочнения и восстановления направлены на решение одной общей задачи — повышение надежности и работоспособности авиатехники, как вновь изготовленной, так и отремонтированной;

- тот и иной процессы обработки характеризуются высокой степенью идентичности технологий обработки и используемого лазерного оборудования;

- параметры обработки находятся примерно на одном уровне в пределах регламентации существующими техническими условиями (см. рис.3).

В силу изложенного, становится возможным, технически и экономически оправданным, создание в условиях одного предприятия единого универсального комплекса (участка, цеха) лазерной обработки материалов. Создание такого комплекса, кроме выше рассмотренных технологических приемов, может об-

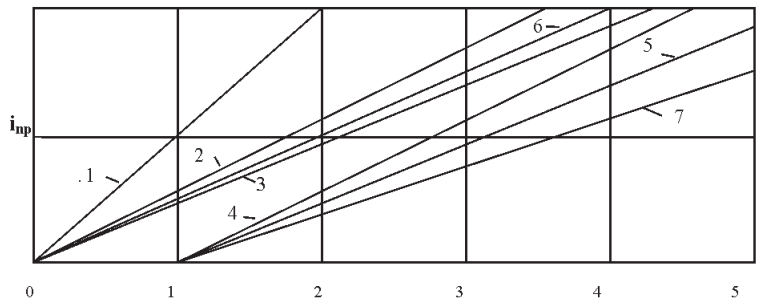


Рис. 3. Зависимость износа до восстановительного ремонта. По вертикальной оси – степень износа (%), по горизонтальной оси – время и номера восстановительных ремонтов. $i_{пр}$ – предельная степень износа. Кривые износа детали: *1* - в исходном состоянии (не обработана); *2* - термоупрочнена излучением лазера; *3* - наплавлена износостойким присадочным материалом; *4* - термоупрочнена после первого капремонта; *5* - восстановлена износостойким присадочным материалом; *6* - термоупрочнена при взаимном термоупрочнении сопрягаемой детали; *7* - восстановлена при термоупрочнении сопрягаемой детали

еспечить реализацию и других перспективных лазерных технологических процессов, таких как резка, сварка, легирование и т.п. Данные процессы также хорошо изучены и имеют реальную перспективу промышленного использования. Таким образом, расширение сферы деятельности современного авиационного предприятия при *комплексном многопрофильном использовании лазерных технологий* при минимальных затратах, несомненно является экономически и технически оправданной задачей. Справедливость данной концепции и ее целесообразность иллюстрируются анализом условных кривых износа (работоспособности) на примере термоупрочненных и восстановленных с использованием лазерных технологий изделий. Приняв линейную зависимость износа от времени эксплуатации до очередного капитального ремонта, условные кривые строились с учетом результатов стендовых и лабораторных испытаний ряда деталей и материалов на износостойкость (Рис. 3).

Предположим, что кривая износа 1 для детали, не подвергнутой лазерной обработке, предусматривает необходимость восстановительного ремонта или замены ее на новую при первом капитальном ремонте изделия, т.к. величины предельного износа она достигает в межремонтный (между первым и вторым капитальным ремонтом изделия) период эксплуатации. Если осуществить лазерное термоупрочнение этой детали (кривая 2), при ее монтаже на изделие, то необходимость ее ремонта может возникнуть только при втором или третьем, а иногда и более позднем капитальном ремонте изделия, учитывая, что износостойкость некоторых материалов может повышаться до 10 раз. При лазерной наплавке износоустойчивого слоя на поверхность этой детали (кривая 3), при прочих равных условиях, вероятность необходимости ее восстановления еще более снизится, либо необходимость замены или восстановления сместится в сторону увеличения номера капремонта. Подобные виды обработки можно реализовать при одном из капитальных ремонтов (кривые 4,5), что значительно увеличит ресурс и с достаточно большой вероятностью позволит исключить необходимость ее восстановления или замены.

Как следует из анализа кривых износа термообработку и/или наплавку износостойкого слоя целесообразно осуществлять на более ранних стадиях срока эксплуатации. При этом объем восстановительных работ при одновременном повышении работоспособности в процессе всего срока эксплуатации изделия может быть значительно снижен. Более того, учитывая стабильное повышение характеристик износостойкости большинства материалов при оптимальных режимах обработки, возможно достижение условий, обеспечивающих полный отказ от необходимости восстановительного ремонта или замены элементов конструкции до полной выработки ресурса изделия в целом.

Результаты последних исследований, определяющих влияние взаимной обработки сопрягаемых пар трения, позволили выявить дополнительное повышение характеристик износостойкости обоих элементов сопряжения, как при термоупрочнении (кривая 6), так и при восстановлении лазерной наплавкой (кривая 7). Такая комбинация лазерной обработки поверхностей для большинства испытанных сопрягаемых пар трения является наиболее предпочтительной.

Таким образом, кроме снижения трудовых и материальных ресурсов на восстановительные работы, предлагаемые виды лазерной обработки способны повысить работоспособность узлов и изделия в целом при одновременном увеличении уровня его надежности и эксплуатационной безопасности. Одновре-

менно с этим, подтверждается актуальность и эффективность концепции комплексного использования перспективных лазерных технологических процессов в современных условиях отечественного авиастроения в сочетании с ремонтно-восстановительным профилем производства.

Для прогнозирования ресурса деталей подверженных износу, т.е. время t, через которое необходимо производить их замену или восстановление, зная интенсивность износа можно воспользоваться зависимостью [8]

$$T = \frac{\left(h_n - h_{\min}\right)}{k\left(h_{n-1} - h_n\right)}, \qquad (3)$$

где h_{n-1} и h_n — размеры детали в зоне износа в начале и в конце межремонтного периода;

h_{min} — минимально допустимый размер детали;

T — фактическая величина межремонтного периода (количество часов налета, взлетов-посадок);

k — коэффициент, учитывающий возможность увеличения ресурса за счет лазерного термоупрочнения или восстановления.

Данный коэффициент зависит от угла наклона кривой изнашивания, который может быть определен экспериментально на основе лабораторных или стендовых испытаний износоустойчивости тех или иных материалов, максимально приближенных к реальным условиям их работы, а также используя статистические данные.

Наряду с увеличением долговечности и повышением работоспособности рассматриваемых объектов обработки при многопрофильном использовании лазерных технологий, следует ожидать заметного повышения уровня надежности и безотказности производимой (ремонтируемой) авиатехники.

БИБЛИОГРАФИЯ

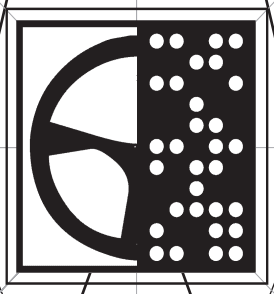
1. Григорьянц, А.Г. Основы лазерного термоупрочнения сплавов / Григорьянц А.Г.,Сафонов А.Н. - М.: Высшая школа, 1988. - 160 с.
2. Андрияхин, В.М. Процессы лазерной сварки и термообработки / В.М. Андрияхин - М.: Наука, 1988. - 176 с.
3. Рэди Дж. Промышленные применения лазеров: Пер. с англ.М.:Мир, 1981. 638 с.
4. Рыкалин, Н.Н. Лазерная обработка материалов / Н.Н. Рыкалин, А.А. Углов, А.Н. Какора. - М.: Машиностроение, 1975. - 296 с.
5. Черноиванов, В.И. Некоторые результаты разработки и внедрения лазерной технологии в прромышленност / В.И. Черноиванов, В.Е. Архипов, Е.М. Биргер // М-лы совещания «Лазерные технологические установки и перспективы их применения на предприятиях отрасли». М.: 1986. - 83 с.
6. Шестоперова, Н.Г. Целесообразность и экономическая эффективность освоения технологических процессов восстановления деталей / Н.Г. Шестоперова, А.Р. Смышляев // В сб.» Инженерные методы обеспечения безопасности полетов при эксплуатации и ремонте авиационной техники ГА». М.: МИИ ГА. 1987. - 172 с.
7. Григорьянц, А.Г. Основы лазерной обработки материалов / А.Г. Григорьянц. - М.: Машиностроение, 1989. - 304 с.
8. Соломонов, П.А. Безотказность авиационной техники и безопасность полетов / П.А. Соломонов. - М.: Транспорт, 1977. - 272 с.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Иркутский государственный университет путей сообщения
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
Энергоснабжение и электромеханика
Управление техническими системами
Информационные технологии

Закарюкин В.П., Крюков А.В., Соколов В.Ю. УДК 621.311

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ МНОГОАМПЕРНЫХ ШИНОПРОВОДОВ

Введение. При формировании магистральных цеховых сетей, а также для питания мощных сварочных машин и электропечей применяются шинопроводы большого сечения, рассчитанные на токи 4000 А и более. Такие шинопроводы применяются на напряжениях до 1000 В и расстояния между токоведущими частями могут быть весьма небольшими, что приводит к резкому проявлению эффекта близости, увеличивающему активное сопротивление шины. Учет этого эффекта традиционными методами [1] связан с весьма сложными расчетами, мало приемлемыми в практике проектирования и эксплуатации систем электроснабжения (СЭС). Кроме того, методика, изложенная в [1], основывается на рассмотрении шинопровода как локального объекта, вне его связей с питающей СЭС. В настоящей статье излагается новый, системный подход к моделированию многоамперных шинопроводов, отличающийся тем, что предлагаемые модели непосредственно используются в задачах расчета установившихся режимов СЭС.

Постановка задачи и методика моделирования. Наиболее распространенной формой сечения шин является прямоугольная. Даже при частоте 50 Гц вытеснение тока приводит к тому, что по краям шины плотность тока существенно превышает плотность тока в середине, что ведет к увеличению активного сопротивления переменному току. Это увеличение учитывается коэффициентом добавочных потерь $K_Д = \frac{R_{\sim}}{R_0}$.

Возможности расчетов режимов электрических систем с подобными шинопроводами ограничиваются ввиду существенного изменения параметров шин из-за поверхностного эффекта и эффекта близости, зависящих как от взаимного расположения токоведущих частей, так и от токораспределения в шинном наборе.

Разработанный в ИрГУПС обобщенный метод моделирования многопроводных систем в фазных координатах, основанный на использовании решетчатых схем [2], позволяет решить задачу расчета режимов СЭС с шинопроводами без введения эмпирических коэффициентов . При этом корректно учитывается реальное токораспределение, а также поверхностный эффект и эффект близости. Кроме того, возможен учет металлических коробов (экранов), в которых могут размещаться шинные конструкции. Метод основан на замене массивных проводников в плоскопараллельном электромагнитном поле набором тонких проводов, суммарный ток в которых равен току массивного проводника. Если соединить провода набора друг с другом, то получится модель шинопровода, в которой распределение токов в тонких проводах определяется и поверхностным эффектом, и эффектом близости. Для облегчения рутинной, но весьма трудоемкой работы по заданию параметров отдельных проводов может быть предложен следующий алгоритм.

1. В качестве исходных данных для построения модели шинопровода с прямоугольными или круглыми шинами и с прямоугольным или круглым экраном используются ширина и высота шин и экрана (или диаметры и толщины стенок), количество шин, количество тонких проводов модели по ширине и высоте (или по окружности и по радиусу), координаты центров шин и экрана и омические сопротивления 1 км шин и экрана.

2. По значениям сопротивлений шин и экрана и заданному количеству проводов определяются омические сопротивления отдельных проводов модели.

3. По заданным геометрическим параметрам определяются координаты расположения проводов модели в предположении равномерного распределения проводов по периметру и толщине шины и экрана. На этом этапе может

быть целесообразна «ручная» корректировка параметров отдельных проводов.

4. По числу шин и количеству проводов шины и экрана определяются значения элементов массивов, задающих соединения отдельных проводов многопроводной системы друг с другом.

5. По методике, описанной в работе [2], определяются собственные и взаимные сопротивления проводов модели и обрабатываются соединения проводов друг с другом с получением решетчатой схемы замещения. На этом этапе модель шинопровода представляет собой полносвязную решетчатую схему с RLC-элементами и готова к объединению ее в расчетную схему СЭС по методике, изложенной в [2]. Количество ветвей итоговой решетчатой схемы сравнительно невелико и равно n(n-1)/2, где n — количество узлов модели шинопровода после объединения отдельных проводов друг с другом.

Описанная методика моделирования реализована при модификации комплекса программ Fazonord-Качество, разработанном в ИрГУПСе [3]. Количество проводов модели шинопровода в программном комплексе принципиально ограничено только возможностями компьютера (при расчетах токораспределения в системе проводов размерность системы уравнений равна шестнадцатикратному квадрату числа проводов) и может доходить до нескольких сотен.

Результаты моделирования с учетом эффекта близости. При выборе омического сопротивления проводов равным сопротивлению шины, умноженному на число проводов, активное сопротивление модели практически не зависит от выбора радиуса провода и от площади его сечения. Для правильного учета влияния скин-эффекта на активное сопротивление внешние провода модели следует располагать на границе шины, что целесообразно и для корректного определения взаимоиндуктивных связей с соседними шинами. От радиуса отдельного провода модели существенно зависит внутренняя индуктивность провода и, соответственно, индуктивное сопротивление шины. С этой точки зрения необходимо выбирать радиус провода и площадь его сечения для наиболее полного заполнения проводами внутреннего пространства шины. Результаты расчетов активного сопротивления и $K_Д$ для одиночной и спаренных шин сечением 10 х 100 мм при разном количестве проводов модели проиллюстрированы графиками, приведенными на рис. 1 и 2.

Стабилизация активного сопротивления для двухшинной системы происходит при 24 проводах, что соответствует примерно трем проводам на толщину скин-слоя. В табл. 1 приведены результаты расчета $R_{\sim}$ и $K_Д$ для различного расположения шин, а также экспериментальные данные, приведенные в работе [4]. Хорошее совпадение экспериментальных и расчетных $K_Д$ свидетельствует о приемлемости предлагаемой модели для решения практических задач расчета режимов СЭС с многоамперными шинопроводами.

В табл. 2 приведены результаты расчета активного и реактивного сопротивлений, а также $K_Д$ для магистрального шинопровода

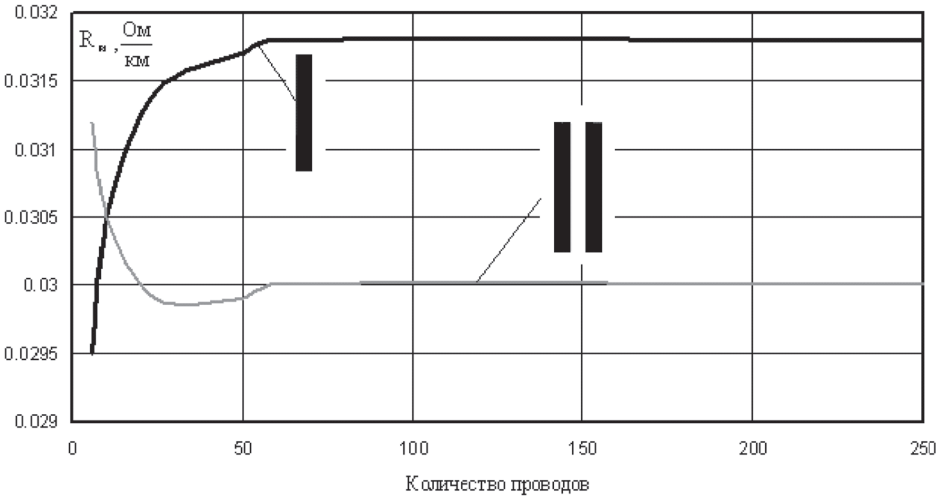


Рис. 1. Зависимость расчетного активного сопротивления от числа проводов в модели

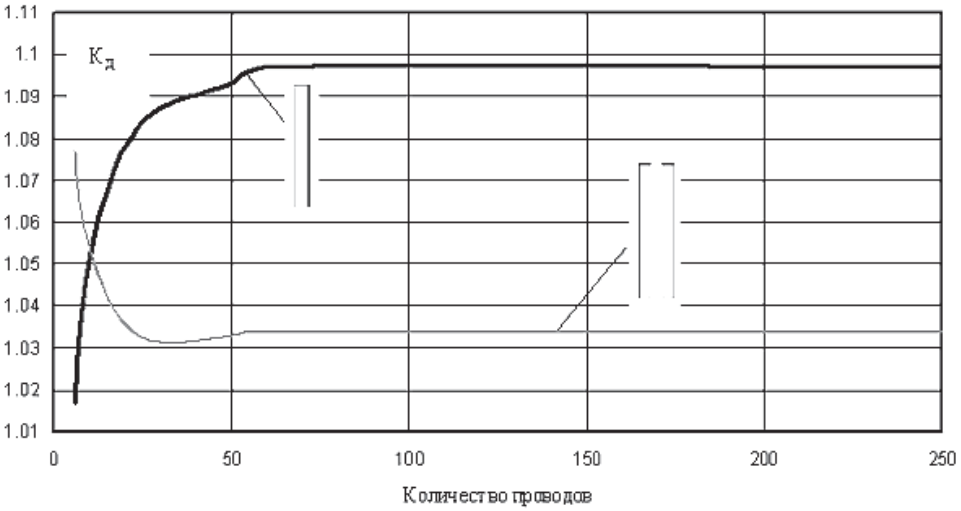


Рис. 2. Зависимость $K_Д$ от числа проводов в модели

Таблица 1

Сопротивления магистральных шинопроводов с шинами 10 х 100 мм^2 при 24 проводах на шину

Расположение шин	$R_{\approx}$, Ом/км	Расчетный $K_Д$	$K_Д$ по данным [4]	Различие $K_Д$, %
Одиночная шина	0.0318	1.097	1.175	-6.6
Две шины с зазором 10 мм, разные направления тока	0.0299	1.033	1.04	-0.7
Две шины с зазором 10 мм, одинаковые направления тока	0.040	1.38	1.36	1.5

Таблица 2

Сопротивления трехфазного магистрального шинопровода ШМА-4000 с экраном

Фаза шинопровода	Расчетное значение $R_{\approx}$ шины, Ом/км	Справочное значение $R_{\approx}$, Ом/км	Расчетный $K_Д$	$K_Д$ по данным [4]	Расчетное реактивное сопротивление X_0 шины, Ом/км	Справочное значение X_0, Ом/км
A	0.0114	-	1.14	-	0.0082	-
B	0.0190	-	1.90	-	0.0231	-
C	0.0100	-	1.00	-	0.0179	-
Среднее	**0.0135**	**0.013**	1.35	1.3	0.0164	0.015

ШМА-4000, также свидетельствующие об адекватности предлагаемой модели. Расчетная схема шинопровода, сформированная средствами комплекса Fazonord-Качество, приведена на рис. 3, векторная диаграмма представлена на рис. 4.

Токораспределение в прямоугольных шинах. Предлагаемый метод позволяет получить картину распределения токов по сечению шины. На рис. 5 ... 9 показаны токи в отдельных проводах многопроводных моделей.

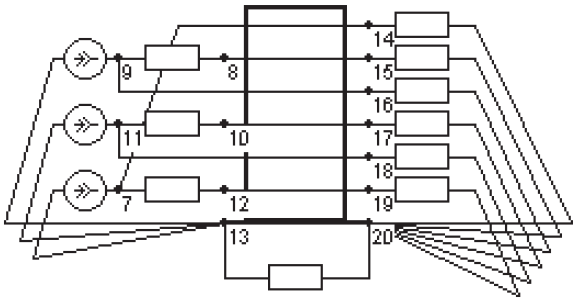


Рис. 3. Расчетная схема

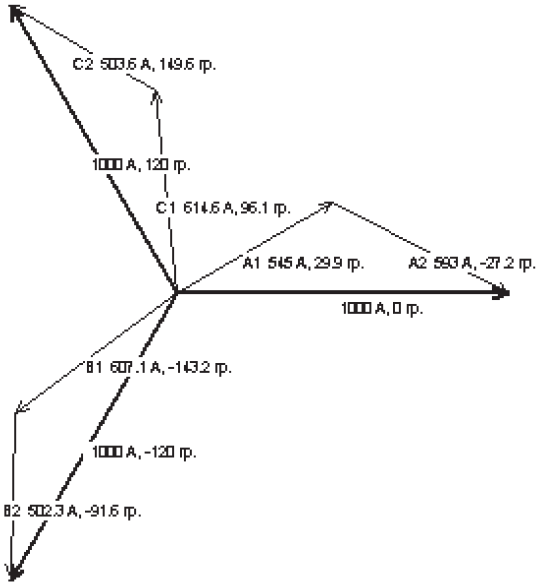


Рис. 4. Векторная диаграмма токов в отдельных шинах

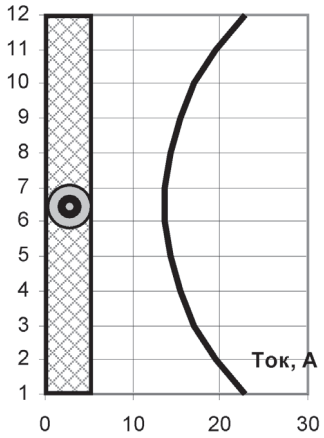


Рис. 5. Распределение токов по сечению одиночной шины

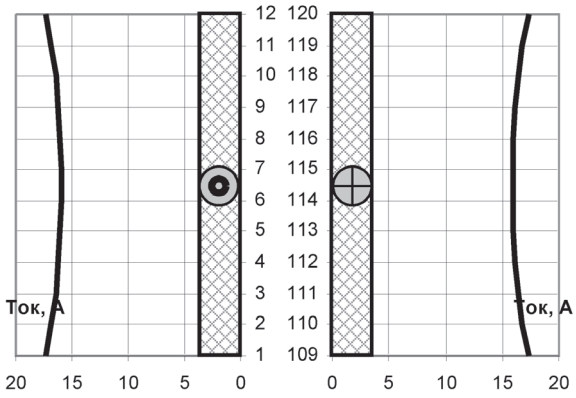


Рис. 6. Распределение токов по сечению для однофазного шинопровода с разнонаправленными токами

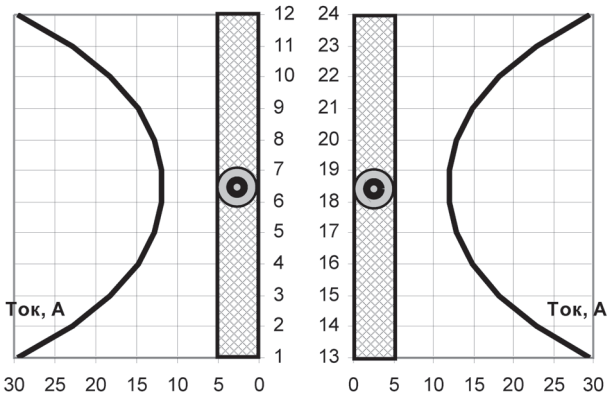


Рис. 7. Распределение токов по сечению для однофазного шинопровода с однонаправленными токами

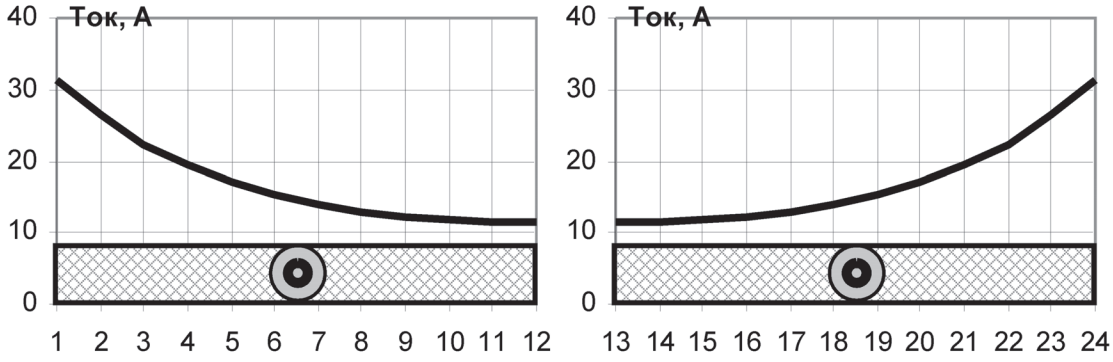


Рис. 8. Распределение токов по сечению для однофазного шинопровода

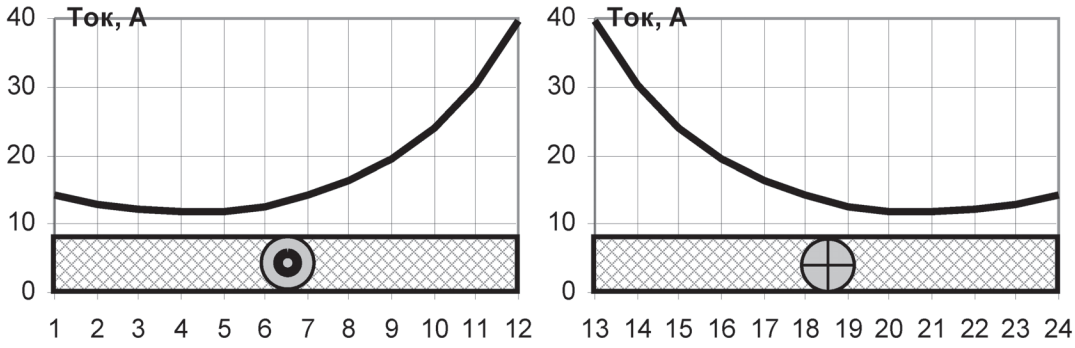


Рис. 9. Распределение токов по сечению для однофазного шинопровода с разнонаправленными токами и горизонтальным расположением шин

Выводы

1. Предложен новый метод моделирования многоамперных шинопроводов, выполненных из прямоугольных или круглых шин. Метод отличается системным подходом к моделированию и позволяет корректно учитывать поверхностный эффект и эффект близости. На основе моделирования возможно получение картины распределения токов по сечению шин.

2. Сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными позволяет сделать вывод о приемлемости предлагаемого метода для решения практических задач расчета режимов в СЭС, включающих многоамперные шинопроводы.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Чальян, К. М. Методы расчета электромагнитных параметров токопроводов [Текст] / К. М. Чальян. — М. : Энергоатомиздат, 1990. — 280 с.
2. Закарюкин, В. П. Сложнонесимметричные режимы электрических систем [Текст] / В. П. Закарюкин, А. В. Крюков. — Иркутск : Изд-во Иркут. ун-та. — 2005. — 273 с.
3. Закарюкин, В. П. Fazonord-Качество. Расчеты показателей качества электроэнергии в системах электроснабжения в фазных координатах с учетом движения поездов [Текст] : свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ / Закарюкин В. П., Крюков А. В. ; Федерал. служба по интеллект. собственности, патентам и товарным знакам. — Зарегистр. 28.06.2007. — М., 2007. — № 2007612771 (РФ).
4. Мукосеев, Ю. Л. Электроснабжение промышленных предприятий [Текст] / Ю. Л. Мукосеев. — М. : Энергия, 1973. — 584 с.

Руш Е.А.

УДК 502.36 + 502.6:622.24

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИРОДНОГО РАВНОВЕСИЯ В ВОДНОЙ ЭКОСИСТЕМЕ БАССЕЙНА РЕКИ АНГАРЫ

Основной целью настоящей работы является создание комплекса теоретико-методологических основ оценки и нормирования антропогенной нагрузки на бассейн реки Ангары с учетом влияния основных видов природопользования на фоне геологических, гидрогеохимических, почвенных и других природных условий.

Поставленные проблемы, несмотря на свою широту и многообразие, требуют решения вполне конкретных задач:

во-первых — наряду, с исследованием химического состава речных, подземных и сточных вод, состава атмосферных осадков и аэрозольных выпадений, почв и почвенных вод необходимо точно оценить гидродинамический баланс определенного участка акватории р. Ангары;

во-вторых, выбрать опорные разрезы, по которым будет проводиться экологическое тестирование;

в-третьих, выбрать комплекс методов исследования, позволяющих сочетать режим динамического моделирования (то есть, учитывать изменяющиеся во времени и пространстве потоки вещества и энергии) с моделированием физико-химических процессов, протекающих в водной экосистеме определенного участка реки.

В настоящее время автор располагает многолетними, статистически обработанными данными по составу сточных вод, направляемых от различных объектов-водопользователей на сброс в речной бассейн, и вод реки Ангары, обширными данными по составу атмосферных осадков и аэрозольных выпадений, а также почвенной съемки, которые получены при поддержке специалистов из Института геохимии им. А.П. Виноградова СОРАН и Института географии СО РАН.

Накопленный материал позволил приступить к созданию физико-химической модели гидрогеохимической системы Ангарской промышленной зоны. В указанной зоне сосредоточены главные отраслевые комплексы Иркутской области, а именно, предприятия машиностроения, цветной металлургии, химии и нефтехимии, переработки древесины и города области — Иркутск, Ангарск, Шелехов, Усолье-Сибирское, Свирск, Братск.

Предлагаемый подход базируется на использовании программного комплекса "*Селектор-С*", разработанном в институте геохимии СОАН РАН И.К. Карповым. Сущность метода кратко выражается в том, что на основе минимизации термодинамических потенциалов сформулирован подход к формированию и изучению имитационных моделей динамических мегасистем — химически взаимодействующих природных и геотехнических систем (резервуаров), связанных между собой прямыми, обратными и сквозными потоками вещества и энергии.

Структура и основные характеристики модели.

Модель мегасистемы "*промышленные стоки — воды реки Ангары*", будет представлена несколькими сопряженными системами: атмосфера; поверхностные, и придонные воды; донные отложения с поровыми водами, разделенные на две системы — верхний окисленный слой донных отложений и нижний восстановленный. Эти системы связаны между собой и с внешней средой потоками вещества и энергии: континентальный сток поверхностных, грунтовых и подземных вод; промышленные стоки; потоки аэрозолей, атмосферной пыли, эолового материала; дрейф, осаждение и всплывание не прореагировавшей и частично прореагировавшей взвеси различного происхождения.

Резервуары могут иметь различные температуру и давление; массоперенос между резервуарами осуществляется в виде потоков физически индивидуализированных фаз: жидкой, газообразной и твердой. Каждый по-

ток обладает своей скоростью переноса, которая может зависеть от массы резервуара-источника и его состава. Потоки вещества и энергии, связывающие мегасистему с окружающей средой (с внешними управляющими параметрами), задают оптимальную магистраль ее эволюции, или вносят возмущающее воздействие.

Таким образом, в методе минимизации реализуется конструктивный подход — соединение и согласование методов равновесной термодинамики с кинетикой и динамикой физико-химических процессов.

Модели природных и геотехнических процессов — это модели динамических мегасистем — химически взаимодействующих совокупностей систем (резервуаров), связанных между собой и с окружающей средой прямыми, обратными и сквозными потоками вещества и энергии. Поэтому перспективным направлением исследования процессов в мегасистемах является имитационное моделирование. С его помощью эксперимент *in vitro* заменяется компьютерным аналогом природного процесса. Эксперименты проводятся по заранее составленному плану, который корректируется на основе анализа предыдущих результатов. Сопоставляя решения имитационных моделей, можно получить новую информацию о параметрах и динамике мегасистемы во времени и в пространстве в зависимости от изменения управляющих факторов эволюции. При введении в имитационную модель наиболее эффективных показателей, таких как, *pH, Eh*, содержание индикаторных элементов, объем и/или масса отдельных систем, содержание минералов, можно оценить устойчивость мегасистемы под воздействий этих параметров. Основное достоинство имитационных моделей — изучение сложных геохимических мегасистем, которые не представляется возможным исследовать другими методами без существенной потери полноты описания их физико-химического содержания.

Моделирование в условиях неопределенности исходных данных.

Важнейшим элементом исследования физико-химических процессов в имитационном моделировании является научно-обоснованная оценка устойчивости результатов модельного эксперимента к изменению значений исходных данных (параметров входных потоков, их химического состава, термодинамических величин). Анализ чувствительности заключается в том, что величина параметров варьируется в задаваемых исследователем пределах и затем определяется их влияние на искомые характеристики модели. Этот подход имеет особое значение поскольку, в любой имитационной модели природного процесса многие переменные выбираются на основе приблизительных, интервальных иногда единичных данных.

Алгоритмы имитации эволюционного процесса.

В предлагаемом подходе структура имитационной модели динамической мегасистемы формируется по принципу конструктора — комбинированием из унифицированного набора базовых составных частей директивных параметров. Пользователю предоставляется широкий выбор заранее незапрограммированных возможностей самостоятельного формирования разнообразных вариантов агрегирования систем и соединяющих их потоков в мегасистемы.

Физико-химическая эволюция мегасистем рассчитывается по двум алгоритмам. В первом: в единицу времени совершается два действия - расчет равновесия во всех системах мегасистемы одновременно и, затем, перемещение вещества в потоках, согласно заданной матрицы макрокинетических коэффициентов переноса. Во втором, эволюция во времени и в пространстве производится по циклам. В каждом цикле расчет равновесия в системах и перенос вещества осуществляется последовательно от одной системы к другой, согласно их нумерации и матрицы макрокинетических коэффициентов. Один цикл второго алгоритма заканчивается на системе, имеющей наибольший номер.

Важнейшей особенностью обоих алгоритмов является выделение потоков по группам подвижных фаз. Из одной системы могут исходить (или входить) отдельно друг от друга потоки водного раствора, газовой, твердых веществ в виде взвеси, пыли, органического материала. Каждая группа подвижных фаз имеет свою матрицу макрокинетических коэффициентов, которые, если есть в этом необходимость, могут пересчитываться после окончания каждой единицы времени по специально встроенному алгоритмическому оператору.

Модель мегасистемы "Промышленные стоки — воды реки Ангары".

Исходный список базовой мультисистемы состоит из 362 индивидуальных веществ.

Число независимых компонентов в системах равно 26: *Al—Ar—C—Ca—Cl—F—S—Fe—Cu—Ni—Zn—As—Hg—Mn—Sr—K—Mg—N—Na—Ne—P—S—Si—H—O—e* (*e* — электрон).

Термодинамические свойства взяты из трех источников:

1)термодинамические характеристики всех компонентов водного раствора, включая H_2O, а также часть твердых фаз, параметры модифицированного уравнения состояния HKF [1—3] взяты из программного комплекса SUPCRT92 с базой термодинамических данных SPRONS92. DAT [4];

2)термодинамические характеристики большинства твердых фаз взяты из справочника Р.А. Роби и Б.С. Хемингуэя [5];

3) термодинамические характеристики газов взяты из RPS-базы [6].

Индивидуальные коэффициенты активности ионов рассчитывались по модифицированному уравнению Дебая-Хюккеля [7]. Коэффициенты активности нейтральных компонентов водного раствора, в том числе H_2O, приняты равными единице. Коэффициенты фугитивности и мольные объемы газов рассчитывались по трехпараметрическому уравнению состояния Ли-Кеслера [8]. Критические параметры газов взяты из базы RPS. Уравнение и процедуры расчета коэффициентов активности и фугитивности встроены в *Селектор-С* в виде программных модулей [9]. Газовая фаза рассматривается как идеальная смесь реальных газов.

Исходные векторы мольных количеств независимых компонентов твердых отходов промышленных производств, составы жидких стоков производств Ангарской промышленной зоны рассчитаны по данным автора [10,11]; гидрохимический состав вод реки Ангары - по данным [12]; поток сезонного водосбора и состава аэрозольных выпадений по контрольной зоне бассейна реки Ангары - по данным Ходжер Т.В. [13].

Динамическая модель реализовывалась по второму алгоритму. Один цикл — один год. Выделялись две группы подвижных фаз: первая группа — водный раствор, вторая группа — минеральная взвесь, образующаяся или растворяющаяся в результате химического взаимодействия.

Список зависимых компонентов водного раствора составлялся таким образом, чтобы он соответствовал действительному составу р. Ангары и сточных вод. Общее число зависимых компонентов водного раствора 244, включая H_2O как зависимый компонент, — растворитель. Газовая фаза включает 14 зависимых компонентов. Твердые фазы представлены достаточно обширным списком тех минералов, которые потенциально могут присутствовать в равновесии: окислы, сложные окислы, гидроокислы, различные силикаты, "цементные" минералы, сульфиды, сульфаты, карбонаты, апатиты, флюорит, алунит, твердый углерод (графит) и сера, таким образом — всего 102 зависимых компонентов, в том числе аморфные, разупорядоченные и гидратированные фазы. Температура и давление в резервуарах могут принимать следующие значения: 4—14°С, 1 бар в природных водах и 4—40°С 1 бар в промышленных сточных водах.

Структура мегасистемы определяется количеством источников сброса сточных вод (промышленных предприятий). В данной модели, на определенном участке реки, их количество достигает 52. С целью индивидуализации воздействия каждого источника разбиваем мегасистему "промышленные стоки — воды реки Ангары " на элементарные этапы, каждый из которых, представлен двумя подсистемами (рис. 1) описывающими взаимодействие индивидуального стока с речной водой. Например, на входе имитационной модели заданы следующие исходные данные:

Всего в год забирается из реки Ангары — 1438,8 млн. м^3 пресной воды.

Всего в год сбрасывается в реку Ангару — 1211,8 млн. м^3 сточных вод: загрязненных, недостаточно очищенных —687,5 млн. м^3; загрязненных, без очистки — 342,1 млн. м^3; нормативно чистых —182 млн. м^3; нормативно очищенных — 0,2 млн. м^3.

При этом в водные объекты поступает загрязнений в год, в тоннах: легкоокисляемых органических веществ (по $БПК_{полн}$) —12790; нефтепродуктов — 130; взвешенных веществ — 10250; сульфатов — 56400; хлоридов — 262710; фосфора общего — 606; азота аммонийного — 12391; фенолов — 6,36; нитратов — 8581; СПАВ — 50,2; железа — 284; меди — 2,07; цинка — 6,88; никеля — 0,6; хрома — 0,37; ртути — 0,468; алюминия — 14,18; дихлорэтана — 0,01; органических сернистых соединений — 22,36; сероводорода — 0,1; кобальта — 0,17; магния — 13,48; метанола — 67,5; мышьяка — 0,46; нитритов — 226,5; скипидара — 5,88; фто-

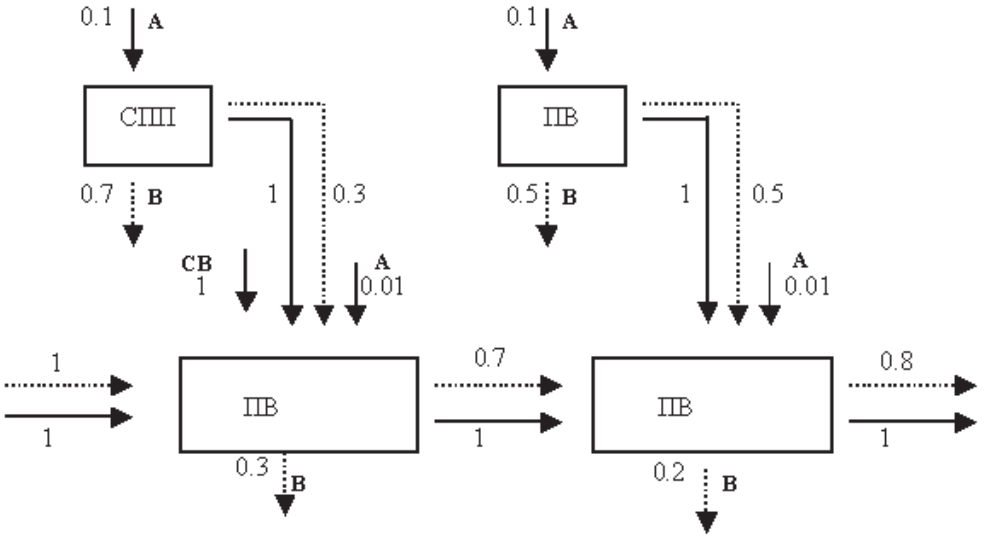


Рис. 1. Принципиальная схема элементарного этапа 52-резервуарной имитационной модели "Промышленные стоки – воды реки Ангары". Сплошные стрелки – первая подвижная группа фаз – водный раствор. Пунктирные стрелки – вторая группа подвижных фаз – потоки твердых веществ. ПВ – природные воды; СПП – стоки промышленных производств; СВ – сезонный водосбор; А – атмосфера; В – взвеси. Числа у стрелок – макрокинетические коэффициенты обмена вещества между резервуарами

ра — 21,94; формальдегида — 25,1; фурфурола — 1,18.

В первой подсистеме происходит разбавление промышленного стока и взаимодействие с атмосферой, а также частичное оседание взвешенного вещества. Во второй - смешение стоков с природными водами с частичным растворением или образованием взвешенного вещества. Аналогичным образом можно учитывать естественные водные притоки, впадающие в Ангару на исследуемом участке.

Таким образом, результатом имитационного моделирования станет аддитивная оценка устойчивости экосистемы реки Ангары к изменению состава и количества сточных вод в зависимости от гидрохимического режима и климатических условий района исследований.

В заключении следует особо отметить, что результаты исследования природно-экологического равновесия в водной экосистеме реки Ангары позволят обеспечить разработку научно обоснованных подходов к рациональному природопользованию, что является основой устойчивого развития экономики Ангарской промышленной зоны.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Helgeson, H. C. Theoretical prediction of the thermodynamic behavior of aqueous electrolytes at high pressures and temperatures: IV. Calculation of activity coefficients, osmotic coefficients, and apparent molal and standard and relative partial molal properties to 600°C and 5 kb [Text] / Helgeson H. C., Kirkham D. H., Flowers G. C. // Amer. J. Sci.. — 1981. — V. 281. — P. 1249—1516.
2. Tanger, J. C. Calculation of the thermodynamic and transport properties of aqueous species at high pressures and temperatures revised equations of state for the standard partial molal properties of ions and electrolytes [Text] / Tanger J. C., Helgeson H. C. // Amer. J. Sci. — 1988. — V. 288. — P. 19—98.
3. Calculation thermodynamic and transport properties of aqueous species at high pressures and temperatures: effective electrostatic radius to 1000°C and 5 kbar [Text] / Shock E. L., Oelkers E. H., Johnson J. W., Sverjensky D. A., Helgeson H. C. // J. Chem. Soc. — London Faraday Trans., 1992. — V. 88. — P. 803—826.
4. Johnson, J. W. SUPCRT92: A software package for calculating the standard molal thermodynamic properties of mineral gases, aqueous species, and reactions from 1 to 5000 bars and 0 to 1000°C [Text] / Jonson J. W., Oelkers E. H., Helgeson H. C. // Comput. & Geosci., 1992. — V. 18. — P. 899—947.

5. Robie, R. A. Thermodynamic properties of minerals and related substances at 298.15 K and 1 bar (105 Pascals) pressure and at higher temperatures [Text] / Rpbie R. A., Hemingway B. S. // U. S. Geological Survey Bulletin, 2131. — U. S. Government Printing Office, Washington, 1995. — 461 p.
6. Рид, Р. Свойства газов и жидкостей [Текст] : справ. пособие : пер. с англ./ Рид Р., Праусниц Дж., Шервуд Т. — Л. : Химия, 1982. — 592 с.
7. Helgeson, H. C. Theoretical prediction of the thermodynamic behavior of aqueous electrolytes at high pressures and temperatures: IV. Calculation of activity coefficients, osmotic coefficients, and apparent molal and standard and relative partial molal properties to 600°C and 5 kb [Text] / Helgeson H. C., Kirkham D. H., Flowers G. C. // Amer. J. Sci., 1981. — V. 281. — P. 1249—1516.
8. Lee, B. I. Generalized thermodynamic correlation based on three-parameter corresponding [Text] / Lee B. L., Kesler M. G. // AIChE J., 1975. — V. 21. — P. 510—527.
9. Current status of the SELEKTOR software package [Text] / Chudnenko K. V., Karpov I. K., Bychinskii V. A., Kulik D. A. // Water-Rock Interaction ; ed. : Y. K. Kharaka & O. V. Chudaev, Proc. 8th Inter. Symp. on Water-Rock Interaction. — Vladivostok : A.A. Balkema, 1995. — P. 725—727.
10. Rush, E. A., Mathematical modeling of natural eguilibrium in water ecosystems [Text] / Rush E. A., Bychinskyi V. A., Samarkina E. V. // Environment and mineral processing : Proceding of international conference. — Ostrava, Czech Republic, 2000. — P. 243-249.
11. Руш, Е. А. Совершенствование технологий сорбционной очистки сточных вод от тяжелых металлов для предприятий Ангарской промышленной зоны [Текст] : моногр. / Е. А. Руш. — Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2003. — 195 с.
12. Гидрохимические исследования озера Байкал / под ред. Г. И. Галазия. — М. : Изд-во АН СССР, 1963. — 145 с.
13. Исследование дисперсного и химического состава аэрозолей на южном Байкале [Текст] / Ходжер Т. В., Буфетов Н. С., Голобкина Л. П., Дроздова В. И. [и др.] // География и природные ресурсы. — 1996. — № 1. — С. 73—79.

Букина А.В.

УДК 517.977

ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Введение.

Рассматривается задача оптимального управления интегро-дифференциальной системой, в которой дифференциальный оператор является гиперболическим с единичными собственными значениями. Такие системы используются в динамических моделях с возрастной структурой где в каждый момент времени на процесс влияет состояние объекта по всем возрастам и каким-либо дополнительным признакам, что и отражается интегралами. Примерами приложений могут служить модели эпидемического контроля, амортизации производственных фондов, динамики популяций [1, 2].

1. Постановка задачи.

Поставим задачу о поиске управлений, которые доставляют минимум функционалу

$$J(u)=\int\limits_S\int\limits_P \varphi(x(p,s,t_1),p,s)dpds+ \\ +\int\limits_\Pi\int\int \Phi(x,y,z,r,u,p,s,t)dpdsd, \qquad (1)$$

определенному на решениях следующей интегро-дифференциальной системы

$$x_t+x_s=f(x,y,z,r,u,p,s,t), \\ y(p,s,t)=\int\limits_P\int\limits_S g(x(\rho,\xi,t),z(\rho,\xi,t), \\ r(\rho,\xi,t),u(\rho,\xi,t),p,\rho,s,\xi,t)d\rho d\xi, \qquad (2)$$

$$z(p,s,t)=\int_S q(x(p,\xi,t),u(p,\xi,t),p,s,\xi,t)d\xi,$$

$$r(p,s,t)=\int_P k(x(\rho,s,t),u(\rho,s,t),p,\rho,s,t)d\rho,$$

$$x(p,s,t_0)=x^0(p,s),\ x(p,s_0,t)=$$

$$=\int_S l(x(p,s,t),u(p,s,t),p,s,t)ds.$$

При этом допустимые управления принадлежат множеству

$$V=\left\{u\in L_\infty^{Nu}(\prod):u(p,s,t)\in U\right\}.$$

Здесь

$(p,s,t)\in\prod=P\times S\times T=(p_0,p_1)\times(s_0,s_1)\times(t_0,t_1)$,

$x(p,s,t)\in R^{Nx}$, $y(p,s,t)\in R^{Ny}$, $z(p,s,t)\in R^{Nz}$,

$r(p,s,t)\in R^{Nr}$, $u(p,s,t)\in R^{Nu}$, $U\in R^{Nu}$.

На параметры задачи (1)-(3) наложим следующие ограничения: функции $\varphi=\varphi(x,p,s)$, $\Phi=\Phi(x,y,z,r,u,p,s,t)$,

вектор-функции $f=f(x,y,z,r,u,p,s,t)$, $g=g(x,z,r,u,p,\rho,s,\xi,t)$, $q=q(x,u,p,s,\xi,t)$,

$k=k(x,u,p,\rho,s,t)$ непрерывны по совокупности своих аргументов и имеют непрерывные производные по переменным x,y,z, и $r,x^0(p,s)$ — измеримая существенно ограниченная в $P\times S$ вектор-функция.

Дифференциальный оператор в системе (2) является простейшим гиперболическим оператором. Его характеристиками служат плоскости $\zeta=s-t+\tau$ с одинаковым наклоном к осям координат переменных s и t при любых значениях . Под обобщенным решением задачи (1)-(3) будем понимать измеримые существенно ограниченные функции x,y,z и r, удовлетворяющие почти в каждой точке $(p,s,t)\in\prod$ системе интегральных уравнений:

$$x(p,s,t)=x(p,\breve{s}(s,t),\breve{t}(s,t))+$$

$$+\int_{\breve{t}(s,t)}^{t} f(x(p,\zeta,\tau),\ y(p,\zeta,\tau),z(p,\zeta,\tau),r(p,\zeta,\tau),$$

$$u(p,\zeta,\tau),p,\zeta,\tau)\big|_{\zeta=s-t+\tau}\,d\tau,$$

где

$$\breve{s}(s,t)=\begin{cases}s-t+t_0, & s-s_0\ge t-t_0,\\ s_0, & s-s_0<t-t_0,\end{cases}$$

$$\breve{t}(s,t)=\begin{cases}t_0, & s-s_0\ge t-t_0,\\ t-s+s_0, & s-s_0<t-t_0.\end{cases}$$

Можно доказать [3], что обобщенное решение существует и единственно в пространстве $L_\infty(\prod)$, при этом x является абсолютно непрерывным вдоль характеристик $\zeta=s-t+\tau, p\in P,$ а также получить оценку скорости роста решений x,y,z и r.

Частные производные x_t,x_s могут не существовать, тем не менее обобщенное решение x почти всюду в $\prod$ имеет измеримую и существенно ограниченную производную

$$Dx(p,s,t)=\left[\frac{d}{d\tau}x(p,s-t+\tau,\tau)\right]\Big|_{\tau=t}.$$

2. Необходимые условия оптимальности.

Путем анализа формулы приращения целевого функционала в задачке (1)-(3) на вариациях управления вдоль различных характеристик системы (2) можно получить [3] необходимое условие оптимальности управления в форме вариационного принципа максимума, который будет представлять собой три сосредоточенные задачи оптимального управления.

Введем в рассмотрение функцию Понтрягина следующего вида

$$H(\psi,\theta,\mu,\lambda,\gamma,x,y,z,r,u,p,s,t)=$$

$$=\langle\psi(p,s,t),f(x,y,z,r,u,p,s,t)\rangle+$$

$$+\int_S\int_P\langle\theta(\rho,\xi,t),g(x,z,r,u,\rho,p,\xi,s,t)\rangle d\rho d\xi+$$

$$+\int_S\langle\mu(p,\xi,t),q(x,u,p,\xi,s,t)\rangle d\xi+$$

$$+\int_P\langle\lambda(\rho,s,t),k(x,u,\rho,p,s,t)\rangle d\rho+$$

$$+\langle\gamma(\pi,\tau),\lambda(\xi,\upsilon,\pi,\sigma,\tau)\rangle-\Phi(x,y,z,r,u,p,s,t),$$

$\psi,\theta,\lambda,\mu,\gamma$-решения задачи, сопряженной (2):

$$\begin{aligned}&D\psi=-H(\psi,\theta,\mu,\lambda,\gamma,x,y,z,r,u,p,s,t),\\ &\psi(p,s,t_1)=-\varphi_x(x(p,s,t_1),p,s),\psi(p,s_1,t)=0,\\ &\theta(p,s,t)=H(\psi,\theta,\mu,\lambda,\gamma,x,y,z,r,u,p,s,t),\\ &\mu(p,s,t)=H_y(\psi,\theta,\mu,\lambda,\gamma,x,y,z,r,u,p,s,t),\\ &\lambda(p,s,t)=H_r(\psi,\theta,\mu,\lambda,\gamma,x,y,z,r,u,p,s,t),\\ &\gamma(p,t)=\psi(p,s_0,t),(p,s,t)\in\prod\end{aligned}\quad(4)$$

Теорема 1. Пусть $(x^\star,y^\star,z^\star,r^\star,u^\star)$ — оптимальный процесс в задаче (1)-(3), $(\psi^\star,\theta^\star,\lambda^\star,\mu^\star,\gamma^\star)$ — соответствующее ему решение сопряженной задачи (4). Тогда:

1) для почти всех $\rho\in P$ и $\tau\in T$ управление $u^{\star(\rho\tau)}(s)=u^\star(\rho,s,\tau)$ является решением задачи

$$J^{(\rho\tau)}(v)=-\varphi(x^{(\rho\tau)}(t_1),s_0-\tau+t_1)+$$
$$+\int_{\tau}^{t_1} H(0,\theta^*,\mu^*,\lambda^*,\gamma^*,x^{(\rho\tau)},$$
$$y^*,z^*,r^*,u^*,\rho,s_0-\tau+t,t)\,dt+ \qquad (5)$$
$$+\int_S H(\psi^*,\theta^*,0,\lambda^*,0,x^*,y^*,$$
$$z^{(\rho\tau)},r^*,v^{(\rho\tau)},\rho,s,\tau)\,ds\to\max,$$
$$\dot{x}^{(\rho\tau)}=f(x^{(\rho\tau)},y^*,z^*,r^*,u^*,\rho,s_0-\tau+t,t),$$
$$x^{(\rho\tau)}(\tau)=\int_S l(x^*,v^{(\rho\tau)}(s),\rho,s,\tau)ds,$$
$$z^{(\rho\tau)}(s)=\int_S q(x^*,v^{(\rho\tau)}(\xi),\rho,s,\xi,\tau)d\xi,v^{(\rho\tau)}(s)\in U;$$

2) для почти всех $\rho\in P$ и $\zeta\in Z=(s_0+t_0-t_1,s_1)$ управление $u^{*(\rho\zeta)}(t)=u^*(\rho,\zeta-t_0+t,t)$ является решением задачи

$$J^{(\rho\zeta)}(v)=-\alpha\varphi(x^{(\rho\zeta)}(t_1),\zeta-t_0+t_1)+$$
$$+\int_{\bar{t}(\zeta)}^{\bar{t}(\zeta)} H(0,\theta^*,\mu^*,\lambda^*,\gamma^*,x^{(\rho\zeta)},y^*,z^*,r^*,$$
$$v^{(\rho\zeta)},\rho,\zeta-t_0+t,t)\,dt\to\max,$$
$$\dot{x}^{(\rho\zeta)}=f(x^{(\rho\zeta)},y^*,z^*,r^*,v^{(\rho\zeta)}(t),\rho,\zeta-t_0+t,t),$$
$$x^{(\rho\zeta)}(\breve{t}(\zeta))=x^0(\rho,\zeta),\zeta\ge s_0,x^{(\rho\zeta)}(\hat{t}(\zeta))= \qquad (6)$$
$$=\int_S l(x^*,v^*,p,s,\breve{t}(\zeta))ds,\zeta<s_0,$$
$$v^{(\rho\zeta)}(t)\in U,$$

где

$$\alpha=\begin{cases}0,\zeta\ge s_1-t_1+t_0,\\1,\zeta<s_1-t_1+t_0,\end{cases}$$
$$\breve{\tau}(\varsigma)=\begin{cases}t_0, & \zeta\ge s_0,\\ s_0-\varsigma+t_0, & \zeta<s_0,\end{cases}$$
$$\hat{\tau}(\varsigma)=\begin{cases}t_1, & \zeta\le s_1-t_1+t_0,\\ s_1-\varsigma+t_0, & \zeta<s_1-t_1+t_0;\end{cases}$$

3) для почти всех $\xi\in S$ и $\tau\in T$ управление $u^{*(\xi\tau)}(p)=u^*(p,\xi,\tau)$ является решением задачи

$$J^{(\xi\tau)}(v)=\int_S H(\psi^*,\theta^*,\mu^*,0,x^*,y^*,$$
$$z^*,r^{(\xi\tau)}(p),v^{(\xi\tau)}(p),p,\xi,\tau)\,ds\to\max,$$
$$r^{(\xi\tau)}(p)=\int_P k(x^*,v^{(\xi\tau)}(\rho),p,\rho,\xi,\tau) \qquad (7)$$
$$d\rho,v^{(\xi\tau)}(p)\in U.$$

Рассмотрев приращения функционалов в этих трех задачах на игольчатых вариациях управлений, придем к необходимому условию оптимальности в форме конечномерного принципа максимума.

Теорема 2. Пусть (x^*,y^*,z^*,r^*,u^*) — оптимальный процесс в задаче (1)-(3), $(\psi^*,\theta^*,\lambda^*,\mu^*,\gamma^*)$ - соответствующее ему решение сопряженной задачи (4). Тогда для почти всех $(p,s,t)\in\Pi$ оптимальны процесс удовлетворяет условию

$$H(\psi^*,\theta^*,\mu^*,\lambda^*,\gamma^*,x^*,y^*,z^*,$$
$$r^*,u^*,p,s,t)=$$
$$=\max_{v\in U}H(\psi^*,\theta^*,\mu^*,\lambda^*,\gamma^*, \qquad (8)$$
$$x^*,y^*,z^*,r^*,v,p,s,t).$$

Как было отмечено, из вариационного принципа максимума следует конечномерный принцип. Обратное утверждение не верно [3]. Таким образом, вариационный принцип максимума является более сильным необходимым условием оптимальности, чем принцип максимума Понтрягина.

3. Алгоритмы вариационного принципа максимума. Для обоснования сходимости численных методов к решениям, удовлетворяющим необходимым условиям оптимальности, требуются более сильные предположения на параметры задачи. Поэтому далее будем считать, что функции φ,Φ, вектор-функции f,g,q,k удовлетворяют условию Липшица вместе со своими частными производными по фазовым переменным.

Рассмотрим задачи (1) - (3) с позиций численного решения на основе вариационного принципа максимума. В соответствии с теоремой 1 опишем и обоснуем три варианта численных алгоритмов, каждый из которых ориентирован на соответствующее семейство динамических задач.

Определим общую схему метода для первого случая вариационного принципа максимума. Выберем произвольное допустимое управление $u^0=u^0(p,s,t)$. Пусть на k-той итерации алгоритма построено допустимое управление u^k. Для него путём решения задач (2) и (4) найдем фазовые траектории x^k,y^k,z^k,r^k и сопряженные траектории $\psi^k,\theta^k,\lambda^k,\mu^k,\gamma^k$. Сформируем семейство задач (5). Пусть управления $\bar{u}^k(p,s,t)$ при почти всех $p\in P$ и $t\in T$ доставляет максимум функционалу $J_k^{(\rho\tau)}$. Построим функцию

$$\delta_k(p,t)=J_k^{(\rho\tau)}(\bar{u}^k)-J_k^{(\rho\tau)}(u^k),p\in P,t\in T$$

и определим её среднее значение:

$$\mu_k=\frac{1}{(p_1-p_0)(t_1-t_0)}\int_T\int_P\delta_k(p,t)dpdt.$$

В силу определения функция $\delta_k(p,t)$ неотрицательна и, следовательно, $\mu_k\ge 0$. Причем, если $\mu_k=0$, то управление u^k является решени-

ем семейства вспомогательных задач (5), т.е. удовлетворяют первому условию вариационного принципа максимума, сформулированному в теореме 1. Поэтому всюду далее будем считать $\mu_k > 0$.

Пусть ε - числовой параметр. Рассмотрим семейство $PT_k(\varepsilon)$ измеримых подмножеств множества $P \times T$ с мерой ε:

$$mesPT(\varepsilon) = \varepsilon, \varepsilon \in (0, mes(P \times T)].$$

Проведём варьирование управлений u^k на множестве $PT_k(\varepsilon)$ следующим образом:

$$u_\varepsilon^k(p,s,t) = \begin{cases} \overline{u}^k(p,s,t), (p,t) \in PT_k(\varepsilon), s \in S, \\ u^k(p,s,t), (p,t) \in (P \times T) \setminus PT_k(\varepsilon), s \in S. \end{cases}$$

Из формулы приращения целевого функционала [3] следует справедливость оценки

$$J(u_\varepsilon^k) - J(u^k) \le \le -\iint\limits_{PT_k(\varepsilon)} \delta_k(p,t)dpdt + C\varepsilon^2, \quad (9)$$

$C > 0$ — константа. Значит, в силу неотрицательности $\delta_k(p,t)$, можно подобрать такой шаг варьирования управления $\varepsilon_k > 0$, который будет обеспечивать уменьшение функционала:

$$\varepsilon_k \in (0, mes(P \times T)] : J(u_{\varepsilon_k}^k) < J(u^k).$$

Определение очередного приближения как

$$u^{k+1}(p,s,t) = u_{\varepsilon_k}^k(p,s,t), (p,s,t) \in \Pi$$

завершает k-тую итерацию метода.

С целью обоснования сходимости описанного алгоритма введем дополнительные условия на множество варьирования $PT_k(\varepsilon)$ и параметр ε_k, которые идентичны условиям, разработанным на уровне обыкновенных динамических систем [4].

Пусть множество $PT_k(\varepsilon)$ строится так, чтобы при любых $k = 0,1,2,\ldots$, для него было справедливо неравенство:

$$\iint\limits_{PT_k(\varepsilon)} \delta_k(p,t)dpdt > N\mu_k^\sigma\varepsilon,$$

для некоторых констант $N > 0, \sigma \ge 1$. Выбор шага ε_k пусть осуществляется с правилом наискорейшего спуска:

$$\varepsilon_k : \min J(u_{\varepsilon_k}^k), \varepsilon_k \in (0, mes(P \times T)].$$

Тогда из оценки (9) следует, что релаксационная последовательность u^k сходится в смысле $\mu_k \to 0, k \to \infty$ [4].

Алгоритмы, ориентированные на второе и третье семейства задач вариационного принципа максимума, имеют аналогичную схему с соответствующими невязками μ_k и множествами варьирования управлений.

Пусть на k-той итерации для почти всех $p \in P$, $\zeta \in Z$ следы $\overline{u}^k(p,\zeta - t_0 + t, t)$ управления $\overline{u}^k(p,s,t)$ являются оптимальными в семействе задач (6). Тогда, соответственно,

$$\delta_k(p,\zeta) = J^{(\rho\zeta)}(\overline{u}^k) - J^{(\rho\zeta)}(u^k), p \in P, \zeta \in Z,$$

$$\mu_k = \frac{1}{(p_1 - p_0)(s_1 - s_0 - t_0 + t_1)} \int_S \int_P \delta_k(p,\zeta)dpd\zeta,$$

управление u^k варьируется на семействе $PZ_k(\varepsilon)$:

$$PZ_k(\varepsilon) \subset P \times Z, mesPZ_k(\varepsilon) = \varepsilon, \varepsilon \in [0, mes(P \times Z)],$$

$$u_\varepsilon^k(p,s,t) = \begin{cases} \overline{u}^k(p,s,t), (p, s - t + t_0) \in PZ_k(\varepsilon), \\ u^k(p,s,t), (p, s - t + t_0) \in (P \times Z) \setminus Z_k(\varepsilon), \end{cases}$$

Сходимость метода обеспечивают условия:

$$PZ_k(\varepsilon) : \iint\limits_{PZ_k(\varepsilon)} \delta_k(p,\zeta)dpd\zeta \ge N\mu_k^\sigma\varepsilon,$$

$$\varepsilon_k : \min J(u_{\varepsilon_k}^k), \varepsilon_k \in (0, mes(P \times Z)],$$

$$u^{k+1}(p,s,t) = u_{\varepsilon_k}^k(p,s,t), (p,s,t) \in \Pi.$$

Теперь уточним алгоритм для третьего варианта. Пусть $\overline{u}^k(p,s,t)$ - управление, при почти всех $s \in S$ и $t \in T$, доставляющее максимум функционалу $J_k^{(\xi\tau)}$ в задаче (7). Положим

$$\delta_k(s,t) = J_k^{(\xi\tau)}(\overline{u}^k) - J_k^{(\xi\tau)}(u^k), s \in S, t \in T,$$

$$\mu_k = \frac{1}{(s_1 - s_0)(t_1 - t_0)} \int_T \int_S \delta_k(s,t)dsdt,$$

$$u_\varepsilon^k(p,s,t) = \begin{cases} \overline{u}^k(p,s,t), (s,t) \in ST_k(\varepsilon), p \in P, \\ u^k(p,s,t), (s,t) \in (S \times T) \setminus ST_k(\varepsilon), p \in P, \end{cases}$$

где $ST_k(\varepsilon) \subset S \times T, mes\, ST_k(\varepsilon) = \varepsilon, \varepsilon \in [0, mes(S \times T)]$,

$$ST_k(\varepsilon) : \iint\limits_{ST_k(\varepsilon)} \delta_k(s,t)dsdt \ge N\mu_k^\sigma\varepsilon,$$

$$\varepsilon_k : \min J(u_{\varepsilon_k}^k), \varepsilon_k \in [0, mes(S \times T)],$$

$$u^{k+1}(p,s,t) = u_{\varepsilon_k}^k(p,s,t), (p,s,t) \in \Pi.$$

Основная трудность в реализации описанных алгоритмов связана с нахождением управлений, доставляющих максимум вспомогательным задачам (5), (6) и (7). Несмотря на их нестандартный вид, для решения данных задач можно привлечь разнообразные алгоритмы, разработанные для задач оптимального управления обыкновенными системами дифференциальных уравнений, например, из работ [5, 6].

Примеры построения областей варьирования $PT_k(\varepsilon)$, $PZ_k(\varepsilon)$, $ST_k(\varepsilon)$, удовлетворяющих определяющим неравенствам, можно найти в [4, 5]. Эти результаты на уровне обыкновенных динамических систем могут использоваться без всяких изменений в рамках предлагаемой схемы варьирования распределенных управлений.

4. Алгоритм конечномерного принципа максимума, или принципа максимума Понтрягина. Основной теоретической предпосылкой метода является возможность получения оценки формулы приращения целевого функционала в виде

$$J(v)-J(u)\le -\iiint\limits_{\Pi(\varepsilon)} \Delta_v H(\psi,\theta,\mu,\lambda,\gamma,x,y,$$

$$z,r,u,p,s,t)dpdsdt+C\varepsilon^2$$

с константой $C > 0$ на игольчатой вариации управления u. Область $\Pi(\varepsilon)$считается однопараметрическим семейством подобластей (необязательно односвязных) исходной области определения управления. Параметр ε регулирует размер области $\Pi_u(\varepsilon)$.Будем считать, что

$$mes\Pi_u(\varepsilon)=\varepsilon,\varepsilon\in(0,mes\Pi].$$

Основные конструкции методов конечномерного принципа максимума стандартны [4,6] и могут быть перенесены на численное решение задачи (1)-(3).

Шаг 0. Выберем произвольное допустимое управление $u^0=u^0(p,s,t)$ и положим $k = 0$.

Шаг 1. По управлению $u^k=u^k(p,s,t)$ строим решения x^k,y^k,z^k,r^k и $\psi^k,\theta^k,\lambda^k,\mu^k,\gamma^k$ задач (2) и (4). Определим управление $\overline{u}^k=\overline{u}^k(p,s,t)$, решив задачу (8) при $x^\star=x^k, y^\star=y^k$, $z^\star=z^k$, $r^\star=r^k,\psi^\star=\psi^k$, $\theta^\star=\theta^k$, $\lambda^\star=\lambda^k,\mu^\star=\mu^k$, $\gamma^\star=\gamma^k$. По формулам

$$\delta_k(p,s,t)=\Delta_{\overline{u}^k}H(\psi^k,\theta^k,\mu^k,\lambda^k,\gamma^k,x^k,$$

$$y^k,z^k,r^k,u^k,p,s,t)\ge 0,(p,s,t)\in\Pi,$$

$$\mu_k=\frac{1}{mes\Pi}\iiint\limits_{\Pi}\delta_k(p,s,t)dpdsdt$$

вычисляем функцию $\delta_k(p,s,t)$ и её среднее значение μ_k. Если $\mu_k=0$,то управление u^k удовлетворяет конечномерному принципу максимума и подозрительно на оптимальность. Иначе $\mu_k>0$ и переходим на следующий шаг.

Шаг 2. Строим управление u_ε^k по правилу

$$u(p,s,t)=\begin{cases}\overline{u}^k(p,s,t),(p,s,t)\in\prod_k(\varepsilon),\\ u^k(p,s,t),(p,s,t)\in\prod\setminus\prod_k(\varepsilon).\end{cases}$$

Определим ε_k из условия

$J(u_{\varepsilon_k}^k)=\min\limits_{\varepsilon\in[0,mes\Pi]}J(u_\varepsilon^k)$.

Полагаем $u^{k+1}=u_{\varepsilon_k}^k, k=k+1$ и переходим на шаг 1.

Релаксационность и сходимость описанного алгоритма может быть доказана аналогично работе [4] если потребовать, чтобы на каждой итерации метода области варьирования $\Pi_k(\varepsilon)$ строились так, чтобы выполнялось определяющее неравенство

$$\iiint\limits_{\Pi_k(\varepsilon)}\delta_k(p,s,t)dpdsdt\ge N\mu_k^\alpha\varepsilon,\varepsilon\in(0,mes\Pi],$$

причем $\alpha>1$ и $N>0, k=0,1,...$

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Dieckmann, U. On the origin of species by sympatric speciation [Text] / Dieckmann U., Doebeli M. // Nature. — 1999. — № 400. — С. 354 — 357.
2. Семовский, С. В. Видообразование в одномерной популяции: адаптивная динамика и нейтральная эволюция [Электронный ресурс] / Семовский С. В., Букин Ю. С., Щербаков Д. Ю. ; [Лимнолог. ин-т СО РАН] // Исследовано в России : Электрон. журн. — М., 2002. — Режим доступа : http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2002/125.pdf. — 27.10.2008.
3. Букина, А. В. Необходимые условия оптимальности управления интегро-дифференциальной системой [Текст] / А. В. Букина // Методы оптимизации и их приложения : Тр. XIV Байкал. междунар. шк.-семинара. — Иркутск, 2008. — С. 107 — 117.
4. Васильев, О. В. Методы оптимизации и их приложения [Текст] / О. Васильев, В. А. Срочко, В. А. Терлецкий. — Новосибирск: Наука, 1990. — Ч. 2 : Оптимальное управление. — 151 с.
5. Срочко, В. А. Вычислительные методы оптимального управления [Текст] / В. А. Срочко. — Иркутск : Изд-во Иркут. ун-та, 1982. — 110 с.
6. Любушин, А. А. Метод исследовательских приближений для расчета оптимального управления [Текст] / А. А. Любушин, Ф. Л. Черноусько // Изв. АН СССР. Сер. Техн. кибернетика. — 1983. — № 2. — С. 147 — 159.

Логунов А.С.

УДК 62.52

СТРУКТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ЗАДАЧАХ ВИБРАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ. ОБОБЩЕННЫЕ ПОДХОДЫ

Инженерно-технические расчеты пассивных виброзащитных систем основываются на моделях, представляющих собой массу (m), соединенную с источником вибрации посредством параллельно включенных линейной пружины с коэффициентом жесткости (k) и демпфера вязкого трения с коэффициентом демпфирования (b). Активная пневматическая виброзащитная система (ПВЗС) отличается от пассивной наличием дополнительной цепи, содержащей последовательно соединенные измерительный, усилительный, распределительный и исполнительный механизмы, работающие от источника сжатого воздуха [1]. В пневматических виброзащитных системах осуществляется взаимодействие пневматических и механических элементов системы. В общем случае исследование динамики ПВЗС основано на решении системы нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих как изменение параметров движения механической системы, так и ход газотермодинамических процессов. Расчетные схемы расчета ПВЗС с различными исполнительными механизмами (ИМ) приведены на рис. 1 а, б, в. Однако на практике часто исследования проводятся на линейных или линеаризованных моделях [2]. Объем исполнительного механизма в ПВЗС не замкнут, а постоянно соединяется либо с внешней средой, либо с другими звеньями активной цепи системы, поэтому уравнения, описывающие газотермодинамические процессы, составляются с учетом основных положений термодинамики переменной массы газа [3].

Состояние газа в i-ом проточном объеме определяется на основании двух законов — закона сохранения энергии и закона сохранения массы. Первый закон термодинамики для процессов с переменной массой газа в i-ом объеме и без учета теплообмена выражается зависимостью

$$du = \Pi_i G_i dt - \Pi_i' G_i' dt - dL, \qquad (1)$$

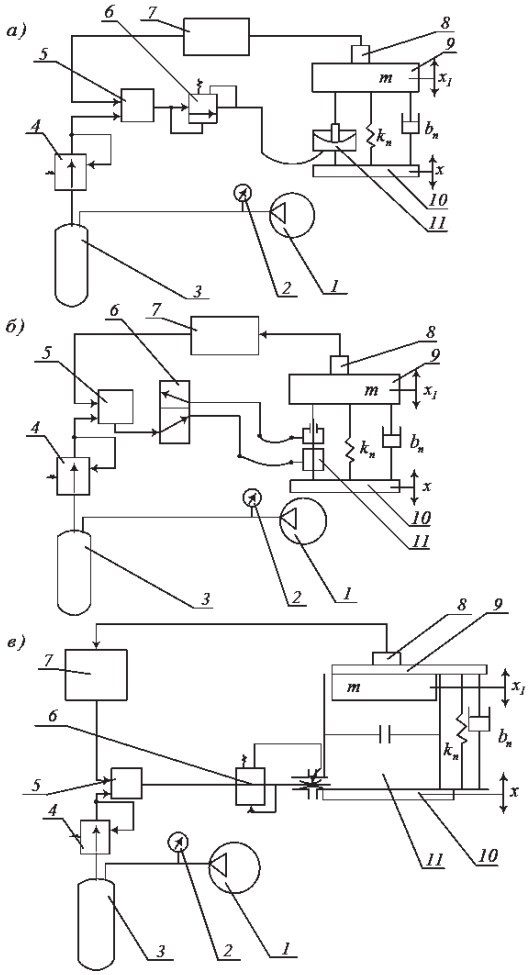


Рис. 1. Расчетные схемы виброзащитных систем с различными исполнительными механизмами, где приняты следующие обозначения: 1-источник давления, компрессор; 2- датчик давления в системе; 3- ресивер; 4- регулятор давления; 5- устройство для обработки информационных сигналов о состоянии объекта и усилитель; 6- распределительное устройство; 7- блок обработки измерительной информации и формирование управляющего сигнала; 8- датчик абсолютного движения объекта; 9- объект защиты массой m; 10- вибрирующее основание, источник кинематического воздействия; 11- рабочая полость пневмоэлемента

где $П_i$, $П'_i$ - удельный приход (расход) энергии; G_i , G'_i - секундный приход (расход) газа; $П_i G_i dt$, $П'_i G'_i dt$ - количество энергии, поступающей (потерянной) в рабочем объеме, в связи с поступлением (потерей) Gdt (кг) газа; du - изменение удельной внутренней энергии газа; dL - изменение работы тела.

Внутренняя энергия газа определится по формуле:

$$u_i = \frac{p_i V_i}{k-1}. \qquad (2)$$

Дифференцируя (2) по времени, получим

$$\frac{du}{dt} = \frac{1}{k-1}\left[p_i \frac{dV_i}{dt} - V_i \frac{dp_i}{dt}\right], \qquad (3)$$

откуда

$$\frac{dp_i}{dt} = \frac{k-1}{V}\left[\frac{du_i}{dt} - \frac{1}{k-1} p_i \frac{dV_i}{dt}\right]. \qquad (4)$$

Полагая $dL = pdV$ и подставляя из (1) выражение для $\frac{du}{dt}$, получим

$$\frac{dp_i}{dt} = \frac{k-1}{V}\left[П_i G_i - П'_i G'_i - \frac{1}{k-1} p_i \frac{dV_i}{dt}\right]. \qquad (5)$$

Формула (5) представляет собой выражение для определения скорости изменения давления, полученное из закона сохранения энергии. Закон сохранения массы позволяет определить скорость изменения плотности:

$$\frac{d\gamma_i}{dt} = \frac{1}{V}\left[G_i - G'_i - \gamma_i \frac{dV}{dt}\right], \qquad (6)$$

где γ_i - плотность газа в i-ом объеме.

Уравнения (5) и (6) являются основными при описании газотермодинамических процессов, протекающих в ПВЗС. Введем обозначения, необходимые для составления системы дифференциальных уравнений:

m - масса объекта защиты;

S - эффективная площадь мембраны в мембранном исполнительном механизме (МИМ), площадь поршня в поршневом исполнительном механизме (ПИМ), площадь поршня-объекта в проточной камере;

k_n - коэффициент жесткости пружины пассивной системы;

b_n - коэффициент демпфирования пассивной системы;

V_1 - объем полостей, соответственно — подмембранной, подпоршневой и демпферной камеры;

V_2 - объем полостей — надпоршневой, рабочей камеры;

p_p - давление газа в ресивере;

u_p - удельная внутренняя энергия ресивера;

p_1 - давление в подмембранной, подпоршневой и демпферной камере;

p_2 - давление в подпоршневой, рабочей камере;

p_a - атмосферное давление;

$W_{упр}$ - передаточная функция устройства управления;

x - координата внешнего воздействия;

x_1 - координата объекта защиты;

p - символ дифференцирования ($p = j\omega$, $j = \sqrt{-1}$);

k_a - коэффициент жесткости пружины мембраны в МИМ и коэффициент сжимаемости воздуха в ПИМ и в проточной камере;

b_a - коэффициент демпфирования в активной системе;

$П_1 (П'_1)$ - удельный приход (расход) энергии в подмембранных поршневых лопастях и в демпферной камере;

$П_2 (П'_2)$ - удельный приход (расход) энергии в надпоршневой полости и в рабочей камере;

$G_1 (G'_1)$ - секундный приход (расход) газа в подмембранной, подпоршневых полостях и рабочей камере;

$G_2 (G'_2)$ - секундный приход (расход) газа в надпоршневой полости и в демпферной камере (нейтральное состояние параметров определяется дополнительным индексом «0»).

При составлении дифференциальных уравнений ПВЗС приняты следующие допущения:

1. теплообмен между средой и объемом звеньев практически отсутствует;

2. температура и давление постоянны по всему объему данной полости;

3. процессы сжатия газа принимаются изотермическими при частотах до 3 Гц, при более высоких частотах — адиабатическими;

4. время значительного изменения давления велико по сравнению со временем распространения упругой волны, что позволяет не рассматривать волновые процессы, а течение считать квазиустановившимся [4];

5. газ считается идеальным, т.е. подчиняющимся уравнению состояния $pV = RT$;

6. давление сжатого воздуха в ресивере и на входе в ИМ принято постоянным, потерями давления в трубопроводах пренебрегаем;

7. принятые значения давлений в ресивере и в ИМ позволяют считать процесс истечения газа — сверхкритическим.

Уравнение движения объекта защиты в этом случае имеет вид:

$$mp^2 x_1 = S\Delta p_{\left(\substack{mun \\ op\,ган.}\right)} + p(x - x_1)(b_a + b_n) + \\ +(k_a + k_n)(x - x_1), \quad (7)$$

здесь $\Delta p = p_1 - p_2$ - для ПИМ, $\Delta p = p_1 - p_a$ - для МИМ, $\Delta p = p_2 - p_a$ - для проточного элемента.

Уравнение движения распределительного устройства при управлении активной частью системы по абсолютному отклонению объекта защиты запишется в виде

$$(T_{per}\,p + 1)x_{per} = W_{упр}\,k_{per}\,x. \quad (8)$$

Запишем уравнения, выведенные из закона сохранения энергии:

$$\frac{dp_1}{dt} = \frac{k-1}{V_{10}}\left(\Pi_1 G_1 - \Pi_1' G_1' - \frac{k}{k-1} p_1 \frac{dV_{10}}{dt}\right) - \quad (9)$$

для системы с МИМ;

$$\frac{dp_1}{dt} = \frac{k-1}{V_{10}}\left(\Pi_1 G_1 - \Pi_1' G_1' - \frac{k}{k-1} p_1 \frac{dV_{10}}{dt}\right), \quad (10)$$

$$\frac{dp_2}{dt} = \frac{k-1}{V_{20}}\left(\Pi_2 G_2 - \Pi_2' G_2' - \frac{k}{k-1} p_2 \frac{dV_{10}}{dt}\right) - \quad (11)$$

для системы с ПИМ;

$$\frac{dp_2}{dt} = \frac{k-1}{V_{20}}\left(\Pi_2 G_2 - \Pi_2' G_2' - \frac{k}{k-1} p_2 \frac{dV_{10}}{dt}\right) - \quad (12)$$

$$\frac{dp_1}{dt} = \frac{k-1}{V_{10}}\left(\Pi_1 G_1 - \Pi_1' G_1'\right) - \quad (13)$$

для системы, построенной на основе проточных элементов, а также уравнения, выведенные из закона сохранения массы:

$$\frac{d\gamma_1}{dt} = \frac{1}{V_{10}}\left(G_1 - G'_1 - \gamma_1 \frac{dV_{10}}{dt}\right) - \quad (14)$$

для системы с МИМ;

$$\frac{d\gamma_1}{dt} = \frac{1}{V_{10}}\left(G_1 - G'_1 - \gamma_1 \frac{dV_{10}}{dt}\right), \quad (15)$$

$$\frac{d\gamma_2}{dt} = \frac{1}{V_{20}}\left(G_2 - G'_2 - \gamma_2 \frac{dV_{20}}{dt}\right) - \quad (16)$$

для системы с ПИМ;

$$\frac{d\gamma_2}{dt} = \frac{1}{V_{20}}\left(G_2 - G'_2 - \gamma_2 \frac{dV_{20}}{dt}\right), \quad (17)$$

$$\frac{d\gamma_1}{dt} = \frac{1}{V_{10}}\left(G_1 - G'_1\right) - \quad (18)$$

для системы, построенной на основе проточных элементов.

Параметры в уравнениях (9) и (18) связаны следующими зависимостями:

а) общие для всех:

$$\Pi_1 = u_p,\ u_p = \frac{1}{k-1}\frac{p_p}{\gamma_p} = \frac{1}{k-1} RT_p = const,$$

$$p_p = const,\ \gamma_p = const,\ \Pi_1' = ku_1,$$

$$u_1 = \frac{p_1}{(k-1)\gamma_1},\ \Pi_2 = ku_2,\ u_2 = \frac{1}{k-1}\frac{p_2}{\gamma_2},$$

$$G_1 = \mu_0 S_1 \frac{k_0}{\sqrt{k-1}} \frac{p_1}{\sqrt{u_p}} Y_1;$$

б) для поршневого ИМ:

$$V_1 = V_{10} + S(x - x_1),\ V_2 = V_{20} - S(x - x_1),$$

$$\frac{dV_1}{dt} = S\frac{d}{dt}(x - x_1),\ G_2 = S_1 \mu_0 \frac{k_0}{\sqrt{k-1}} Y_2,$$

$$G_1 = \mu_\Delta S_\Delta \frac{k_0}{\sqrt{k-1}} \frac{p_1}{\sqrt{u_1}},\ \frac{dV_2}{dt} = -S\frac{d}{dt}(x - x_1),$$

$$\mu_0 S_1 = a - bx_p,\ \Pi_2' = ku_2,\ G'_2 = \mu_\Delta S_\Delta \frac{k_0}{\sqrt{k-1}} \frac{p_2}{\sqrt{u_2}};$$

в) для проточной камеры:

$$V_1 = V_{10} = const,\ V_2 = V_{20} + S(x - x_1),$$

$$\frac{dV_2}{dt} = S\frac{d}{dt}(x - x_1),\ \frac{dV_1}{dt} = 0,$$

$$G'_2 = \mu_\Delta S_\Delta \frac{k_0}{\sqrt{k-1}} \frac{p_2}{\sqrt{u_2}},\ G_2 = \mu_1 S_0 \frac{k_0}{\sqrt{k-1}} \frac{p_1}{\sqrt{u_1}} Y_2,$$

$$G'_1 = (\mu_1 S_0 + \mu_0 S_2)\frac{k_0}{\sqrt{k-1}} \frac{p_1}{\sqrt{u_1}},\ \Pi_2' = ku_2,$$

$$\mu_0 S_1 = a - b\Delta f,\ \mu_0 S_2 = a + b\Delta f;$$

г) для мембранного ИМ:

$$V_1 = V_{10} + S(x - x_1),\ \frac{dV_1}{dt} = S\frac{d}{dt}(x - x_1),$$

$$\mu_0 S_1 = a - bx_p,\ \mu_0 S_2 = a + bx_p,\ G'_1 = \mu_0 S_2 \frac{k_0}{\sqrt{k-1}} \frac{p_1}{\sqrt{u_1}}.$$

Выше приняты следующие обозначения: S_0 - площадь выходного отверстия из ИМ; S_1 - площадь входного отверстия в ИМ; S_2 - площадь входного отверстия во 2-ю полость в ПИМ и в рабочую камеру в проточном элементе; μ_i - коэффициент расхода в *i*-ой полости; *a* - произведение начальной площади золотникового отверстия на коэффициент расхода μ; μ_Δ - коэффициент расхода утечек; *b* - произведение ширины окна золотника на коэффициент расхода μ_0; $k_0 = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}} \sqrt{gk}$; *R* - газовая постоянная; T_p - температура газа в ресивере; *k* - показатель адиабаты; *g* - ускорение силы тяжести; $Y = \frac{1}{k_0}\sqrt{\frac{2gk}{k-1}}\sqrt{\left(\frac{p_{i0}}{p_p}\right)^{2/k} - \left(\frac{p_i}{p_p}\right)^{\frac{k+1}{k}}}$;

при $\frac{p_i}{p_p} > \beta_k$ - докритическое истечение; $Y_1 = 1$;

при $\frac{p_i}{p_p} \le \beta_k$ - сверхкритическое истечение;

$\beta_k = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}$; *Y* - функция, зависящая от характера режима истечения.

При подстановке параметров, входящих в $П_i$, G_i, $П_i'$, G_i', уравнения (9) ÷(18) принимают вид:

$$\frac{dp_1}{dt}=\frac{k-1}{V_{10}}\left[\frac{k_0(a-bx_p)p_p^{3/2}}{\gamma_p^{1/2}}Y_1-\right.$$
$$\left.-\frac{(a+bx_p)kk_0p_1^{3/2}}{(k-1)\gamma_p^{1/2}}-\frac{k}{k-1}p_1S(\dot{x}-\dot{x}_1)\right]; \quad (9')$$

$$\frac{dp_1}{dt}=\frac{k-1}{V_{10}}\left[\sqrt{u_p}(a-bx_p)\frac{k_0}{k-1}p_p-\right.$$
$$\left.-\frac{\sqrt{p_1}kk_0}{\sqrt{\gamma_1}\sqrt{k-1}}\mu_1S_0-\frac{k}{k-1}p_1S(\dot{x}-\dot{x}_1)\right]; \quad (10')$$

$$\frac{dp_2}{dt}=\frac{k-1}{V_{20}}\left[\sqrt{u_p}(a+bx_p)\frac{k_0}{\sqrt{k-1}}p_p-\right.$$
$$\left.-\frac{\sqrt{p_2}kk_0}{\sqrt{\gamma_2}\sqrt{k-1}}\mu_2S_0-\frac{k}{k-1}p_2S(\dot{x}-\dot{x}_1)\right]; \quad (11')$$

$$\frac{dp_2}{dt}=\frac{k-1}{V_{20}}\left[\frac{\mu_1S_0kk_0}{(k-1)\sqrt{\gamma_1}}p_1^{3/2}Y_1-\right.$$
$$\left.-\frac{kk_0\mu_\Delta S_\Delta p_2^{3/2}}{(k-1)\sqrt{\gamma_2}}-\frac{k}{k-1}p_2S(\dot{x}-\dot{x}_1)\right]; \quad (12')$$

$$\frac{dp_1}{dt}=\frac{k-1}{V_{10}}\left[\frac{k_0(a-b\Delta f)}{\sqrt{\gamma_1}}p_p^{3/2}Y_1-\right.$$
$$\left.-\frac{(\mu_1S_0+a+b\Delta f)kk_0p_1^{3/2}}{(k-1)\sqrt{\gamma_1}}\right]; \quad (13')$$

$$\frac{d\gamma_1}{dt}=\frac{1}{V_{10}}\Big[(a-bx_p)k_0\sqrt{p_p\gamma_p}Y_1-$$
$$-(a+bx_p)k\sqrt{p_p\gamma_p}-\gamma_1S(\dot{x}-\dot{x}_1)\Big]; \quad (14')$$

$$\frac{d\gamma_1}{dt}=\frac{1}{V_{10}}\left[(a-bx_p)\frac{k_0p_p}{\sqrt{u_p(k-1)}}-\right.$$
$$\left.-\frac{k_0\sqrt{\gamma_1(k-1)}}{\sqrt{p_1}}\mu_1S_0-\gamma_1S(\dot{x}-\dot{x}_1)\right]; \quad (15')$$

$$\frac{d\gamma_2}{dt}=\frac{1}{V_{20}}\left[(a+bx_p)\frac{k_0p_p}{\sqrt{u_p(k-1)}}-\right.$$
$$\left.-\frac{k_0\sqrt{\gamma_2(k-1)}}{\sqrt{p_2}}\mu_2S_0-\gamma_2S(\dot{x}-\dot{x}_1)\right]; \quad (16')$$

$$\frac{d\gamma_2}{dt}=\frac{1}{V_{20}}\Big[\mu_1S_0k_0\sqrt{p_1\gamma_1}Y_1-$$
$$-\mu_\Delta S_\Delta k_0\sqrt{p_2\gamma_2}-\gamma_2S(\dot{x}-\dot{x}_1)\Big]; \quad (17')$$

$$\frac{d\gamma_1}{dt}=\frac{1}{V_{10}}\Big[(a-b\Delta f)k_0\sqrt{p_p\gamma_p}Y_1-$$
$$-(\mu_1S_0+a+b\Delta f)k_0\sqrt{p_1\gamma_1}\Big]. \quad (18')$$

Газотермодинамические процессы, протекающие в ПВЗС, обусловливаются сложными явлениями, связанными с сжимаемостью воздуха, взаимозависимостью процессов, протекающих в различных частях системы, неравномерностью перемещения механических частей. Среди основных факторов, вызывающих нелинейные зависимости, необходимо выделить нелинейность коэффициента расхода как функции хода распределительного устройства, зону нечувствительности системы: «распределительное устройство (РУ) - исполнительный механизм (ИМ)», ограничение хода РУ и пр. Так как исследование системы в общем случае, описываемой существенно нелинейными уравнениями, весьма затруднительно, то имеет смысл провести линеаризацию. Поскольку виброзащитной системе свойственны небольшие перемещения объекта, то линеаризацию можно провести, рассматривая состояние системы вблизи нейтрального, стационарного состояния. Линеаризованная система газотермодинамических уравнений имеет вид:

а) для ПВЗС с мембранным ИМ —

$$p\Delta p=a_{11}\Delta p+a_{12}\Delta\gamma+a_{13}\Delta x_p+a_{14}(x-x_1)p, \quad (19)$$
$$p\Delta p=a_{15}\Delta p+a_{16}\Delta\gamma+a_{17}\Delta x_p+a_{18}(x-x_1)p, \quad (20)$$

где символ Δ - малое, линейное приращение параметра, $\Delta p=p_1-p_a$, $\Delta\gamma=\gamma_1-\gamma_a$;

б) для ПВЗС с поршневым ИМ —

$$p\Delta p=a_{21}\Delta p+a_{22}\Delta\gamma+2a_{23}\Delta x_p+2a_{24}(x-x_1)p, \quad (21)$$
$$p\Delta p=a_{25}\Delta p+a_{26}\Delta\gamma+2a_{27}\Delta x_p+2a_{28}(x-x_1)p, \quad (22)$$

где $\Delta p=p_1-p_2$, $\Delta\gamma=\gamma_1-\gamma_2$;

в) для системы с проточным ИМ —

$$p\Delta p=a_{31}\Delta p+a_{32}\Delta\gamma+a_{33}\Delta x_p+a_{34}(x-x_1)p, \quad (23)$$
$$p\Delta p=a_{35}\Delta p+a_{36}\Delta\gamma+a_{37}\Delta x_p+a_{38}(x-x_1)p, \quad (24)$$

где $\Delta p=p_2-p_a$, $\Delta\gamma=\gamma_2-\gamma_a$.

Коэффициенты a_{ij}, полученные из исходной нелинейной системы уравнений разложением уравнений в ряд Тейлора для ПВЗС с МИМ, имеют вид:

$$a_{11}=-\frac{3}{2}\frac{kk_0}{V_{10}}\sqrt{\frac{p_1}{\gamma_1}}(a+bx_p);$$

$$a_{12}=\frac{1}{2V_{10}}(a+bx_p)kk_0\sqrt{\left(\frac{p_1}{\gamma_1}\right)^3};\ a_{13}=-\frac{k}{V_{10}}p_1S;$$

$$a_{14}=-\frac{b}{V_{10}}k_0\left[(k-1)\frac{p_p^{3/2}}{\gamma_p^{1/2}}+k\frac{p_1^{3/2}}{\gamma_1^{1/2}}\right];$$

$$a_{15} = -\frac{1}{2V_{10}}(a+bx_p)k_0\sqrt{\frac{\gamma_1}{p_1}};$$

$$a_{16} = -\frac{1}{2V_{10}}(a+bx_p)k_0\sqrt{\frac{p_1}{\gamma_1}};$$

$$a_{17} = -\frac{bk_0(k-1)}{V_{10}}\left(\sqrt{p_p\gamma_p}Y_1+\sqrt{p_1\gamma_1}\right); a_{18} = \frac{\gamma_1}{V_{10}}S.$$

Разрешая уравнения (7), (8), (7.13), (19) - (24) относительно выходных координат x_1, x_p, Δp, $\Delta\gamma$, получим:

$$x_1 = \frac{1}{mp^2+(b_a+b_n)p+k_n+k_a}\cdot \cdot\left\{S\Delta p + x\left[(b_a+b_n)p+k_a+k_n\right]\right\}, \quad (25)$$

$$x_p = \frac{K_p}{T_p p+1}x_1, \quad (26)$$

$$\Delta p = \frac{1}{p-a_{i1}}\left[a_{i2}\Delta\gamma + a_{i3}\Delta x_p + a_{i4}(x-x_1)p\right], \quad (27)$$

$$\Delta\gamma = \frac{1}{p-a_{i6}}\left[a_{i5}\Delta\gamma + a_{i7}\Delta x_p + a_{i8}(x-x_1)p\right]. \quad (28)$$

Система линеаризованных уравнений (25) ÷(28) описывает движение ПВЗС, построенной на основе

а) мембранного ИМ — при $i=1$;

б) поршневого ИМ — при $i=2$;

в) проточной камеры — при $i=3$.

Рассмотренной линеаризованной системе соответствует структурная схема, которая после исключения перекрестных связей имеет вид, представленный на рис. 2. Управление активной цепью системы может быть осуществлено по абсолютному (I), относительному (II) отклонениям.

Очевидно, что построенная структурная схема отвечает пневматической ВЗС с любым из рассмотренных ИМ при подстановке соответствующих коэффициентов линеаризации и имеет пассивную и активную части (пассивная часть представлена b_n, k_n).

I. Ниже рассматривается виброзащитная система, имеющая в качестве активного элемента — мембранный ИМ.

При составлении передаточной функции следует сделать некоторые допущения. Значения коэффициентов a_{15} и a_{18} - достаточно малы, так что ими можно пренебречь; передаточная функция активной цепи реальной ПВЗС имеет достаточно высокий порядок, но согласно [5], в области низких частот, характерных для работы пневматической системы можно пренебречь членами высокого порядка. В этом случае передаточная функция активной цепи изобразится звеном первого порядка общего вида [2]:

$$W_{акт}(p) = \frac{d_0+d_1p}{e_0+e_1p}. \quad (29)$$

Передаточная функция ПВЗС с учетом сделанных допущений имеет вид для управления по абсолютному отклонению:

$$W(p) = \frac{T_1p^3+(T_1+T_2)p^2+(T_2+T_3)p+...}{mT_4p^4+(mT_4+m+T_1)p^3+...} \cdot \frac{...+T_3}{...+(m+T_1+T_2)p^2+(T_2+T_3)p+T_3\pm W_{акт}}, \quad (30)$$

при управлении по возмущению:

$$W(p) = \frac{T_1p^3+(T_1+T_2)p^2+(T_2+T_3)p+...}{mT_4p^4+(mT_4+m+T_1)p^3+...} \cdot \frac{...+T_3\pm W_{акт}}{...+(m+T_1+T_2)p^2+(T_2+T_3)p+T_3}, \quad (31)$$

при управлении по относительному отклонению:

$$W(p) = \frac{T_1p^3+(T_1+T_2)p^2+(T_2+T_3)p+...}{mT_4p^4+(mT_4+m+T_1)p^3+...} \cdot \frac{...+T_3\pm W_{акт}}{...+(m+T_1+T_2)p^2+(T_2+T_3)p+T_3\pm W_{акт}}. \quad (32)$$

В формулах (30) — (32)

$$T_1 = \frac{b_a+b_n}{a_{11}}; T_2 = \frac{k_a+k_n-(b_a+b_n+a_{14})}{-a_{11}};$$

$$T_3 = k_a+k_n; T_4 = \frac{1}{a_{11}}.$$

II. Выбор закона управления. При анализе пневматических виброзащитных систем необходимо четко выделить те области частот, при которых активная система имеет преимущество перед пассивной в коэффициенте передачи. Рассмотрим влияние параметров активной цепи системы на динамические свойства виброзащитной системы. Передаточная функция (29) в зависимости от конкретных значений, принимаемых параметрами d_i и e_i, определяет закон управления активной ПВЗС ($i=0;1$).

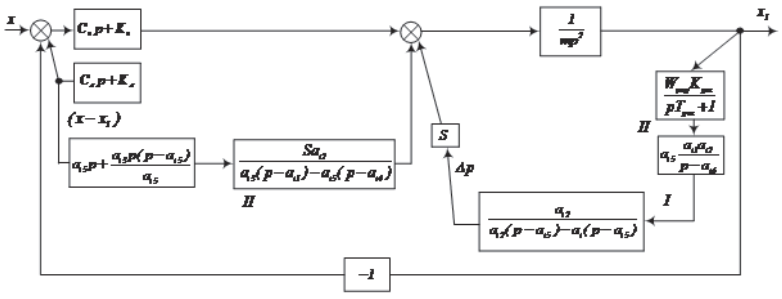


Рис. 2. Структурная схема ПВЗС, соответствующая управлению по относительному (II) и абсолютному (I) отклонениям

Так при:

а) $$W_{акт}(p)=\frac{d_0}{e_0} \quad (33)$$

осуществляется пропорциональный закон управления;

б) $$W_{акт}(p)=\frac{d_0}{e_1 p} - \quad (34)$$

интегральный закон;

в) $$W_{акт}(p)=\frac{d_1}{e_0} p - \quad (35)$$

дифференциальный закон;

г) $$W_{акт}(p)=\frac{d_0}{e_0+e_1 p} - \quad (36)$$

апериодический закон;

д) $$W_{акт}(p)=\frac{d_1 p}{e_0+e_1 p} - \quad (37)$$

дифференциальный закон общего вида.

Ниже приведен анализ влияния различных законов управления на величину зоны эффективности. Условие эффективности, как известно, предполагает обеспечение выигрыша в коэффициенте передачи в активной системе по сравнению с пассивной. Аналитическое условие эффективности запишется в виде:

$$A_n^2(\omega)-A_a^2(\omega)>0, \quad (38)$$

где A_a - модуль коэффициента передачи активной ПВЗС; A_n - модуль коэффициента передачи пассивной системы.

Выполнение условия эффективности должно сочетаться с условием обеспечения устойчивого режима работы. При численном задании коэффициентов характеристического уравнения $D(\lambda)=0$, полученного из выражения передаточной функции АВЗС $W(p)=\frac{K(p)}{D(p)}$ при замене оператора p на исследуемый корень λ, можно воспользоваться критерием Рауса или критерием Гурвица, если степень характеристического уравнения не выше четвертой. Выделение областей устойчивости ПВЗС в плоскости одного комплексного или двух действительных параметров можно выполнить с помощью метода D-разбиения [3].

Пренебрегая в (38) членами выше второго порядка, что вполне допустимо для рассматриваемой области низких частот, и, полагая пассивную систему недемпфированной, вычислим зону эффективности ПВЗС для различных законов управления, величина которой определится неравенством $\omega_{эф}<\sqrt{A}$. В таблице 1 приведены значения A.

Влияние различных законов управления активной цепью ПВЗС на изменение зоны эффективности графически проиллюстрировано на рис. 3, отражающем зависимость $\omega_{эф}=f(d_i,e_i)$ и на рис. 4, где представлены амплитудно-частотные характеристики пассивной и активной систем.

Анализ полученных данных позволяет сделать некоторые выводы относительно изменения границ зоны эффективности. Так, при пропорциональном законе управления увеличение параметра d_0 при $e_0=const$ позволяет расширить зону эффективности, однако большое увеличение становится невозможным, так как система приближается к границе устойчивости.

Управление ПВЗС в соответствии с пропорциональным законом технически реализуется наиболее просто. В этом случае сигнал от объекта защиты на формирование импульса давления в активной цепи системы может

Таблица 1

Значения, используемые для определения границ зон эффективности по частоте

Вид управления	A
$\frac{d_0}{e_0}$	$\frac{d_0 K_n S_n (d_n S_n+2T_3)}{2K_n m(T_3+S_n d_0)+2K_n T_1 S_n d_0+T_2^2 K_n 2T_3^2 m}$
$\frac{d_0}{e_1 p}$	$\frac{3nd_0}{2T_2}$
$\frac{d_1 p}{e_0}$	$\frac{K_n d_1 S_n (K_n d_1 S_n+2T_2)}{2T_2^2 m-T_3 m+K_n m^2-2mT_4 K_n (S_n d_1+d_2)}$
$\frac{d_0}{e_0+e_1 p}$	$\frac{d_0 S_n (d_0 S_n+2T_3)}{T_3^2 e_1^2-mT_3-2T_3(T_1+T_2 e_1)-2S_n d_0(m+T_1+T_2 e_1)-2T_3(m+T_1)-2T_2 T_3 e_1}$
$\frac{d_1 p}{e_0+e_1 p}$	$\frac{K_n^2 d_1 S_n [d_1 S_n+2(T_2+T_3 e_1)]}{m^2 T_3^2+4K_n T_2 T_3 e_1 m+2K_n^2 (d_1 S_n+T_2-T_3 e_1)(mT_4+me_1)}$

быть подан, минуя такие элементы системы, как датчик, преобразователь рода сигнала. Именно по такой схеме и выполнены отечественные и зарубежные пневматические виброзащитные опоры «Serva-Level» фирмой «Barry Controlls». Но пропорциональное управление не всегда позволяет достичь увеличения зоны эффективности и, кроме того, характеризуется наличием статической ошибки регулирования, при которой установившееся значение регулируемой величины различно при различных постоянных значениях нагрузки.

Управление ПВЗС в соответствии с остальными законами требует непременного соответствия унифицированной схеме, представленной на рис. 2. Интегральный закон оказывается целесообразным в области очень низких, с точки зрения уменьшения коэффициента передачи частот. На увеличение зоны эффективности изменение параметров d_0 и e_1, практического влияния не оказывает. Видимо, только теоретический интерес представляет дифференциальное управление, так как в реальных системах чистое дифференцирование произвести довольно трудно.

Управление ПВЗС, согласно законам апериодическому и дифференциальному общего вида, позволяет значительно увеличить зону эффективности. Следует отметить, что одинаковое увеличение зоны эффективности при управлении в соответствии с последними двумя законами, быстрее приближает систему к границе устойчивости в случае апериодического управления, поэтому наилучшие результаты для ПВЗС, с точки зрения увеличения зоны эффективности при сохранении устой чивого режима работы, дает управление согласно дифференциальному закону общего вида.

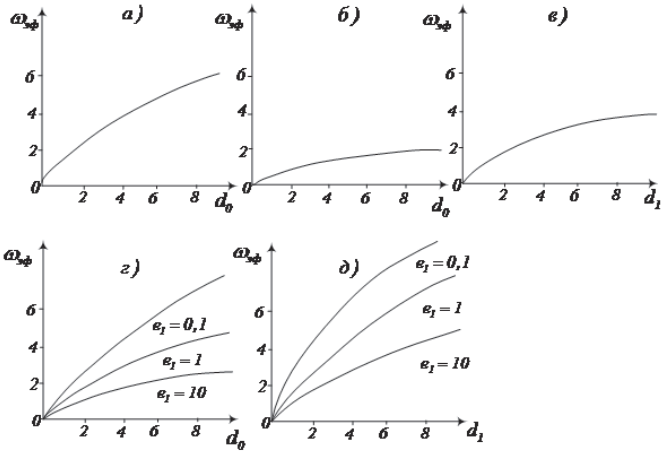


Рис. 3. Связь между величиной зоны эффективности и коэффициентами d_i и e_i для законов управления: а) пропорционального; б) интегрального; в) дифференциального; г) апериодического; д) дифференциального общего вида

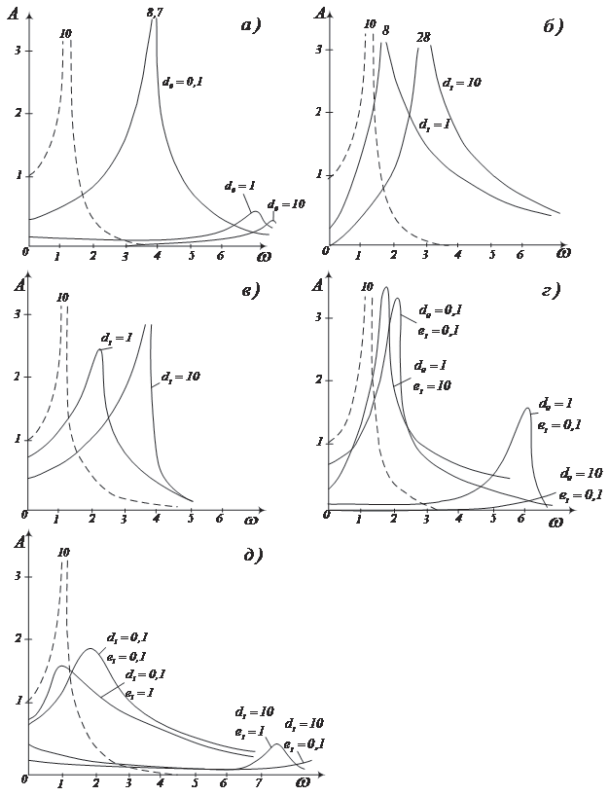


Рис. 4. Амплитудно-частотные характеристики пассивной системы (пунктирная линия) и активной ПВЗС: а) при пропорциональном управлении; б) при интегральном; в) при дифференциальном; г) при апериодическом; д) при дифференциальном управлении общего вида

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Dynamics of mechanical systems with additional ties [Text] / Eliseev S. V., Lukyanov A. V., Reznik Yu. N., Khomenko A. P.. Irkutsk, Russia : Pub. of Irkutsk State University of Railway Engineering, 2006. — 316 p.
2. Динамический синтез в обобщенных задачах виброзащиты и виброизоляции технических объектов [Текст] / С. В. Елисеев, Ю. Н. Резник, А. П. Хоменко, А. А. Засядко ; Читин. гос. ун-т, Иркут. гос. ун-т путей сообщ. — Иркутск : Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2008. — 523 с.
3. Мамонтов, М. А. Некоторые случаи течения газа [Текст] / М. А. Мамонтов. — М. : Оборонгиз, 1951. — 242 с.
4. Screiner, M. On a model of pneumatically actated mechanical system (ISME) [Text] / M. Screiner, P. Barkan. — 1971. — Ser. B, N 2. — P. 146—158.
5. Иващенко, Н. Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем

[Текст] / Н. Н. Иващенко. — М. : Машиностроение, 1993. — 632 с.
6. Лонцих, П. А. Обеспечение качества и управление динамическими процессами технологических систем [Текст] / П. А. Лонцих. — Ростов на/Д. : Изд-во Ростов. гос. ун-та. — 2003. — 236 с.

Жигунова Я.А., Носков С.И.

УДК 519.862

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГАРМОНИК ИНФОРМАТИВНОГО СИГНАЛА МОНИТОРА НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ РЕГРЕСИОННОГО АНАЛИЗА

При оценке защищенности объекта на предмет выявления побочных электромагнитных излучений и наводок (ПЭМИН) ключевыми является поиск и анализ гармоник информативного сигнала. Однако результат поиска этих гармоник с помощью только измерительной аппаратуры может оказаться неточным. Факторами, влияющими на точность измерений, могут быть, в частности: погрешность прибора, наличие высокого уровня шума и, как следствие, малое соотношение сигнал/шум. В силу этого часть информативных гармоник может остаться неучтенной и при изменении внешних условий увеличивать вероятность утечки информации.

Данная проблема исследовалась с помощью автоматизированной системы моделирования КЭМ [1]. Оговоримся, что строящаяся модель будет описывать спектр электромагнитного сигнала именно монитора, так как в техническом плане проще всего решается задача перехвата информации, отображаемой как раз на экране дисплея.

Модель будет призвана определить первую гармонику информативного сигнала, все же остальные гармоники будут кратны ей, и их можно найти с помощью разложения периодического сигнала в ряд Фурье.

Как это обычно делается в регрессионном анализе, предположим, что поведение эндогенного показателя y в основном определяется значениями эндогенных факторов $x_1, x_2,...,x_m$. В частности, предполагается существование линейной регрессии вида:

$$y_k = \sum_{i=1}^{m} a_i x_{ki} + \varepsilon_k, k = \overline{1,n}, \qquad (1)$$

где n — число наблюдений; y и x_i — значения зависимой и независимых переменных соответственно; $б_i$ — подлежащие оцениванию параметры; ε_k - ошибки аппроксимации.

В качестве выходной информации мы должны получить значение частоты первой гармоники, на которой вероятно появление информативного сигнала.

При построении требуемой регрессионной модели входные данные будут представлены в виде:

$$X = \| X_{ki} \|, k = \overline{1,n}; i = \overline{1,3}, y = (y_1, y_{2,...} y_n),$$

где: x_1, x_2 — разрешение монитора (количество строк и столбцов соответственно), x_3 — частота вертикальной развертки экрана, y — тактовая частота монитора.

Входные данные для модели были взяты из протоколов измерений ПЭМИН, которые проводились на основе соответствующей методики для оценки защищенности конфиденциальной информации, обрабатываемой основными техническими средствами и системами.

Построение функции, вычисляющей местоположение первой гармоники спектра информативного сигнала, будем производить на основе использования системы КЭМ.

После обработки исходных данных уравнение регрессии приняло следующий вид:

$$y_k = 35.671 - 0.043x_1 + 0.143x_2 + 0.144x_3. \qquad (2)$$

Далее естественным шагом было решить вопрос о том, насколько математическая модель [2] отражает соотношения между учитываемыми факторами и показателем y.

Для оценки значимости полученных значений параметров используем t-критерий Стьюдента. Фактическое значение критерия для полученной модели приведено в таблице 1.

Удовлетворительным считается значение t-критерия, превышающее единицу. Из таблицы видно, что наиболее значимым является

Таблица 1

Факторы модели	x_1	x_2	x_3
Значение t-критерия	0,26	0,77	1,26

Таблица 2

Критерий адекватности	**Вычисленное значение**
Критерий множественной детерминации, R	0.92
F-критерий Фишера, F	28,32
Средняя относительная ошибка прогноза, E_{ps}	5,7
Средняя относительная ошибка аппроксимации, E	7.27
Критерий Дарбина-Уотсона, d	1.60
Относительная величина остаточной дисперсии, S	0.13
Критерий смещения, $N_{см}$	89.22
Критерий согласованности поведения, K_{sp}	83.33

фактор x_3. Окончательно сравнительную значимость входящих в уравнение переменных можно определить соотношением: $x_3 \succ x_2 \succ x_1$, где $\succ$ - отношение строгой значимости.

В табл. 2 приведены значения остальных критериев адекватности для модели [2], вычисленные с помощью системы КЭМ.

Проанализируем эти значения. Значение критерия множественной детерминации исключительно высоко и близко к единице, что указывает на почти «функциональность» уравнения. Высокая информативность модели подтверждается также значением F-критерия.

Далее. Значения средней относительной ошибки прогноза (E_{ps}) и аппроксимации E достаточно низки (они должны быть, по крайней мере, меньше 10%) [2].

Вычисленное значение критерия Дарбина-Уотсона (d) указывает на наличие некоторой автокорреляции остатков.

Оценка дисперсии (S) чрезвычайно мала. Кроме того, имеет место согласованность (K_{sp}) в поведении расчетной и фактической моделируемой переменной, так как его значение достаточно велико. Наконец, значение показателя смещения ($N_{см}$) также очень высоко.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что модель вполне адекватна и пригодна для практического использования.

Из разложения в ряд Фурье периодического прямоугольного сигнала с длительностью импульса, равной половине периода, следует, что амплитуды четных гармоник будут равны нулю [3]. Из этого, в свою очередь, вытекает, что в спектре будут присутствовать только нечетные гармоники информативного сигнала.

Таким образом, зная частоту первой гармоники (f_1) (в наших обозначениях y), которую мы определили с помощью математической модели, можно вычислить остальные гармоники меандра по известной формуле:

$$f_j = f_1^*(2j-1), \qquad (3)$$

где j — порядковый номер гармоники.

На практике полученные расчетным путем частоты гармоник информативного сигнала не всегда будут совпадать с их реальными значениями, хотя и будут к ним приближены более, чем при расчетах с использованием только измерительной аппаратуры. Поэтому использование математического аппарата является дополнительным инструментом для повышения достоверности результатов поиска гармоник информативного сигнала и может использоваться в сочетании с другими методами.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Носков, С. И. Технология моделирования объектов с нестабильным функционированием и неопределенностью в данных [Текст] : моногр. / С. И. Носков. — Иркутск: РИЦ ГП «Облинформпечать», 1996. — 320 с.
2. Дрейпер, Н. Прикладной регрессионный анализ [Текст] : моногр. / Н. Дрейпер, Г. Смит. — М. : Финансы и статистика, 1981. — Т. 1. — 366 с.
3. Сергиенко, А. Б. Цифровая обработка сигналов [Текст] / А. Б. Сергиенко. — СПб. : Питер, 2002. — 608 с.

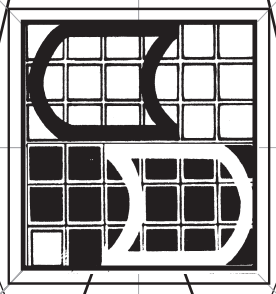
Министерство образования и науки Российской Федерации
Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта

Иркутский государственный университет путей сообщения
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
- Энергоснабжение и электромеханика
- Управление техническими системами
- Информационные технологии

Гончаренко С.С.

УДК 330.147

ТРАНСПОРТНО-ПРОМЫШЛЕННОЕ ОСВОЕНИЕ АЗИАТСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ - СТРАТЕГИЧЕСКОЕ НАПРАВЛЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО РАЗВИТИЯ СТРАНЫ В XXI ВЕКЕ*

Роль отечественного транспорта на современном историческом этапе резко возрастает, расширяется само его предназначение.

Это связано с тремя критическими факторами.

1. Кардинальное изменение формата государства. В этих условиях России приходится восстанавливать промышленно-сырьевой баланс, поднимать общий промышленный потенциал и перестраивать производственную кооперацию, нарушенные выходом союзных республик из единого государства, корректировать состав поставщиков, обеспечивающих ее внутренний товарный рынок.

2. Смена экономической модели развития страны с плановой на рыночную, не позволяющую консолидировать государственные средства, достаточные для реализации масштабных даже особой важности проектов.

3. Усиление вызовов и угроз глобализации, связанных с изменением формата страны, ростом сырьевого дефицита у основных мировых товаропроизводителей, стремлением отдельных государств расширить свое жизненное пространство за счет соседей

При этом вызовы внешней среды возрастают по мере экономического продвижения мировых оппонентов относительно России.

Внутреннее состояние, а также условия глобализации накладывают конкретные требования к общему потенциалу, темпам, направленности, региональным и отраслевым особенностям экономического развития современной России.

При этом прогнозы хорошо корреспондируются с современным этапом развития крупнейших экономик мира и ведущих стран (рис. 1, 2), но Китай развивается более стремительно, с темпами удвоения ВВП в 7 лет (рис. 3).

Рис. 1. Прогноз ВВП крупнейших экономик мира

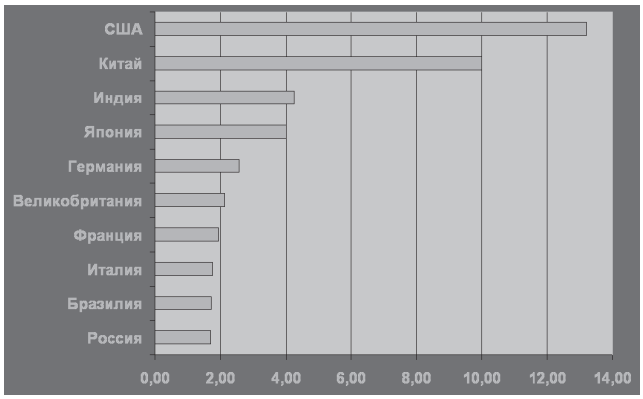


Рис. 2. ВВП ведущих стран в 2007 году

* Доклад обсуждался на круглом столе Байкальского экономического форума (сентябрь 2008, г. Иркутск)

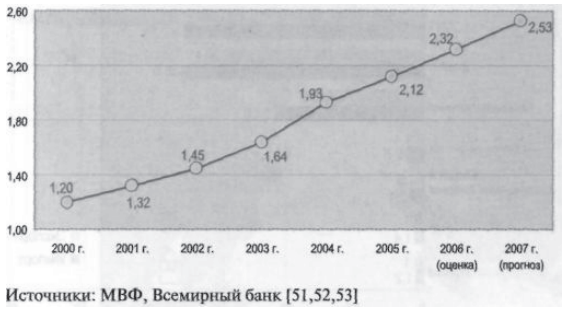


Рис. 3. Рост ВВП Китая в первые годы XXI века

В итоге Китай опережает предсказанные темпы и достиг уровня 10 трлн. долл. уже в 2007 году.

Поэтому на нынешнем этапе перед Россией стоит неотложная задача резкого увеличения темпа экономического роста. В настоящее время, как никогда ранее, актуальные требования кн. А.Г. Щербатова "Удвоение ВВП России должно происходить через каждые 5 лет" (Государственно-народное хозяйство России в ближайшем будущем, 1910 г.).

Такие темпы ускорения являются единственным шансом России удержаться в тройке мировых лидеров, избежать дальнейших осложнений, конкретно обозначенных глобализацией, связанных с нарастающим дефицитом сырья в развитых и интенсивно развивающихся странах, устремлением некоторых стран расширить свое жизненное пространство за счет слабо освоенных территорий соседей.

Причем, ВВП такой большой и комплексной экономики, как российская, должен опираться на индустриальную основу и на развивающуюся сферу услуг. В этой связи нынешние темпы промышленного развития (рис.4) недостаточны. Они явно отстают от темпов развития розничной торговли, что объясняется высоким уровнем экспорта готовой продукции, особенно в сфере товаров народного потребления. Что касается сельского хозяйства, то его темпы развития с учетом массового импорта продовольствия не соответствуют требованиям продовольственной безопасности страны.

При этом в темпы роста грузооборота значительный вклад вносит резкое, в 2 раза, увеличение внешнеэкономической привязанности России к мировому рынку, что подтверждается динамикой перевалки российских грузов через отечественные порты, а также порты Украины и Балтии, за весь реформенный период (рис. 5).

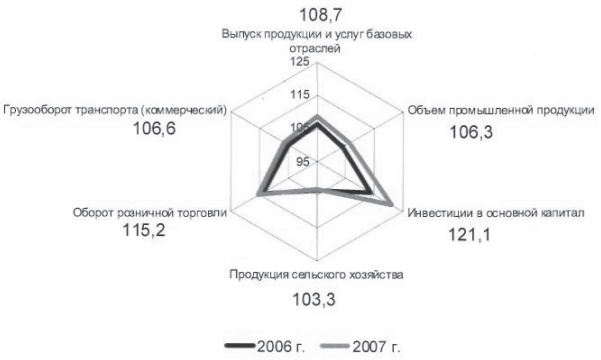


Рис. 4. Индексы основных показателей производства товаров и услуг в 2007 и в 2006 годах, в % к предыдущему году

Рис. 5. Динамика объёмов перевалки российских грузов через порты России и порты других государств

При этом основной вклад в международные перевозки вносит экспорт (рис. 6), структура, которого (рис. 7)) , показывает сырьевую направленность взаимодействия России с внешним миром.

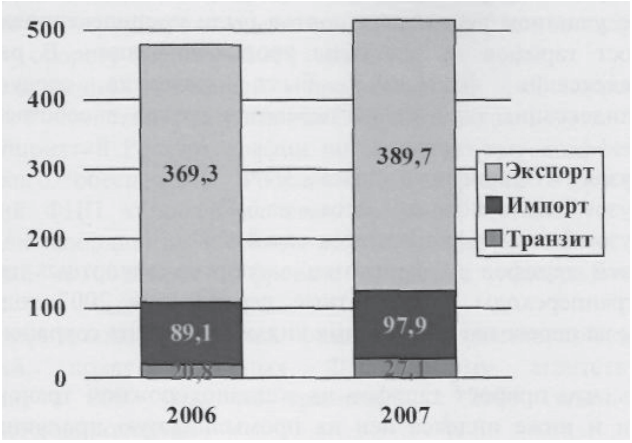
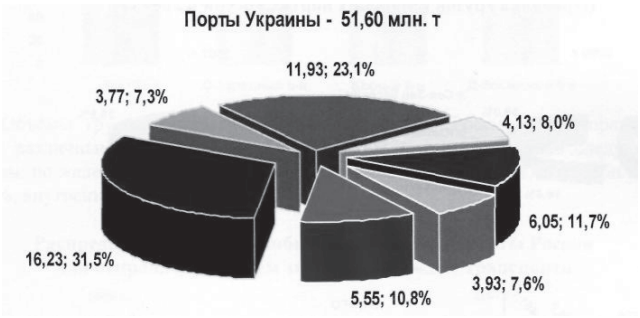


Рис. 6. Динамика объемов международных перевозок (млн. т) в 2006-2007 гг



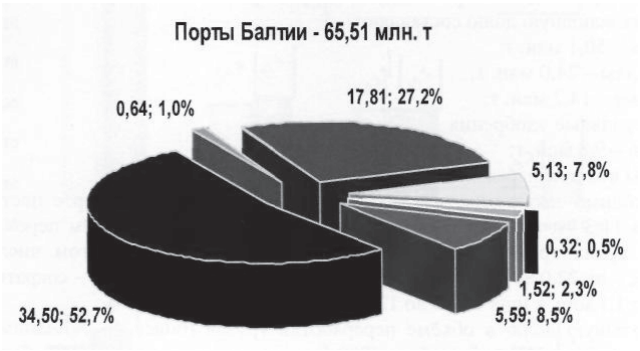


Рис. 7. Объем и структура переработки российских внешнеторговых грузов в морских портах России, Украины, Балтии за 2007 г

Отсюда следует важный для России вывод: несмотря на некоторое оживление, темпы развития транспортного комплекса не имеют ничего общего с требуемыми темпами развития. Они должны быть резко увеличены.

Требования удвоения ВВП с промышленной основой распространяются на все регионы страны, на все отрасли экономики.

Что касается вклада регионов, то нужно восстановить промышленное производство в старопромышленных районах европейской части России и южного Урала, а также создать новые промышленные объекты. Реализовать это требование возможно лишь при комплек-

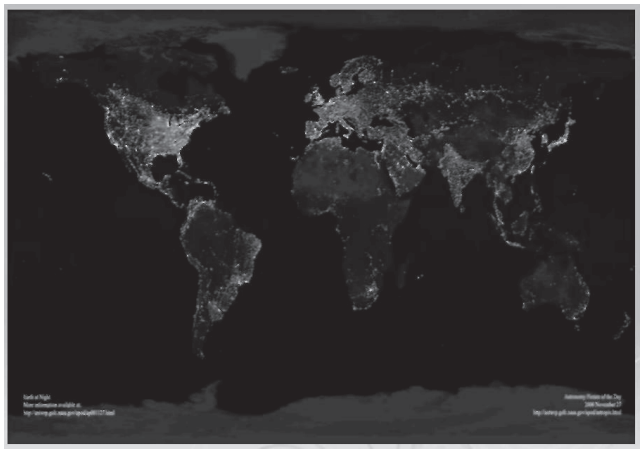


Рис. 8. Энергопотребление макрорегионов мира (космическая съемка)

сном транспортно-промышленном освоении азиатской части страны.

Состояние регионов характеризует их энергопотребление. Картина распределения энергопотребления по миру показывают снимки из космоса (рис. 8).

На снимке видно, что «золотой миллиард» ярко светится, европейская часть России и Урал слегка освещены, а вот огромные пространства Сибири, Дальнего Востока, Крайнего Севера покрыты непроглядной мглой.

Это объяснимо. В Зауралье вдоль Транссиба сформировался лишь Южный пояс экономического развития (рис. 9).

Отсюда видны не только проблемы России, но и ее огромный, и пока не задействованный потенциал, а также, и пути его реализации: транспортное и промышленное развитие незадействованных территорий Азиатской части России.

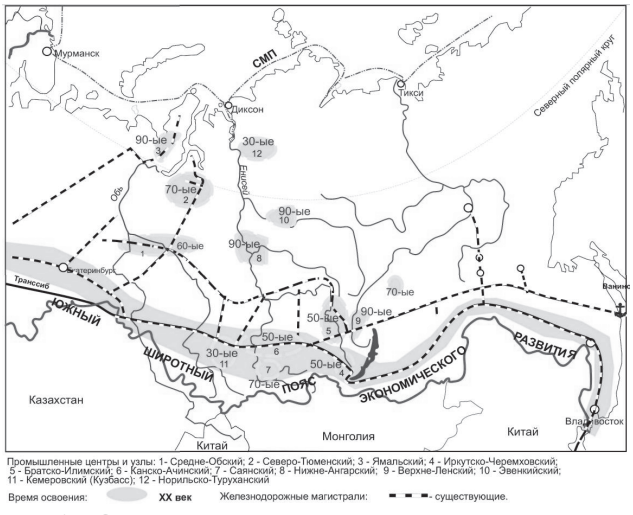


Рис. 9. Южный экономический пояс России

Учитывая масштабы освоения, проблемы, связанные с этим процессом, становится ясным, что глубина стратегического планирования такой крупной и сложной экономики как российская должна быть достаточно большой.

Рассматриваемые проблемы и пути их решения постоянно обсуждались и обсуждаются на Санкт-Петербургских и Байкальских экономических форумах, начиная с 2000 г. Итоговые материалы и рекомендации этих форумов были востребованы при разработке принятых Правительством Российской Федерации «Стратегии развития Сибири», «Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2020 года» и одобренной Правительством Российской Федерации «Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года».

Но сейчас нужен новый рубеж стратегии - до 2030 года и с прогнозной оценкой на 2050 год. Он был предложен учеными транспортниками, экономистами в совместном аналитическом докладе «Горизонт-2030» на Байкальском экономическом форуме 2006 г. Предложения вошли в рекомендации Совета Федерации.

Позитивным откликом предложения ученых явилась разработка в 2007 году ОАО «РЖД», которое разработало стратегию развития железнодорожного транспорта до 2030 года.

Основой стратегии РЖД стал перечень железнодорожных линий для строительства — максимальный вариант развития показан на рис. 10.

Минимальный вариант, предложенный разработчиками, принципиально не может рассматриваться, как не отвечающий требованиям национальной безопасности.

Железнодорожные линии, намечаемые к строительству, представлены в таблице 1.

Кроме того, в настоящее время Минтрансом России завершается разработка транспортной стратегии до 2030 года.

I. Вместе с тем, отраслевые стратегии и программы, какими бы перспективными они ни были, не в состоянии заменить комплексные стратегии и программы социально-экономического развития регионов и страны в целом. В настоящее время, когда наша страна начинает переходить от сырьевого типа экономики (вывоз сырья, завоз продуктового и товарного импорта) к инновационному.

Ограничение отраслевого подхода в разработке стратегии подтверждено обеими транспортными стратегиями до 2030 года и железнодорожной и общетранспортной.

То, что именно сырьевое направление развития страны выбрано в стратегии РЖД транспорта до 2030 года, подтверждается перечнем намечаемых линий и расставленным по ним акцентам. В перечне железнодорожников к стратегическим линиям отнесены: переход на Аляску, и две подходные дороги к портам.

Переход на Аляску в условиях хозяйственной необжитости Северо-Востока России, его малонаселенности русскими является угрозой национальной безопасности и фактически призывом к освоению этих пространств зарубежными инициаторами (об этом автор писал в Аналитическом докладе к круглому столу по транспортным проблемам Байкальского экономического форума 2006 года). Две подходные дороги явно говорят о сырьевой экспортной ориентации, которую планируют железнодорожники.

В то же самое время стратегическая Северо-Сибирская железная дорога, особо отмеченная в Транспортной стратегии 2020 года, отнесена железнодорожниками к технологической группе. Дорога на Камчатку вообще не упоминается в Транспортной стратегии железнодорожного транспорта до 2030 года. Она обозначена лишь как второстепенное, неакцентированное ответвление линии на Аляску.

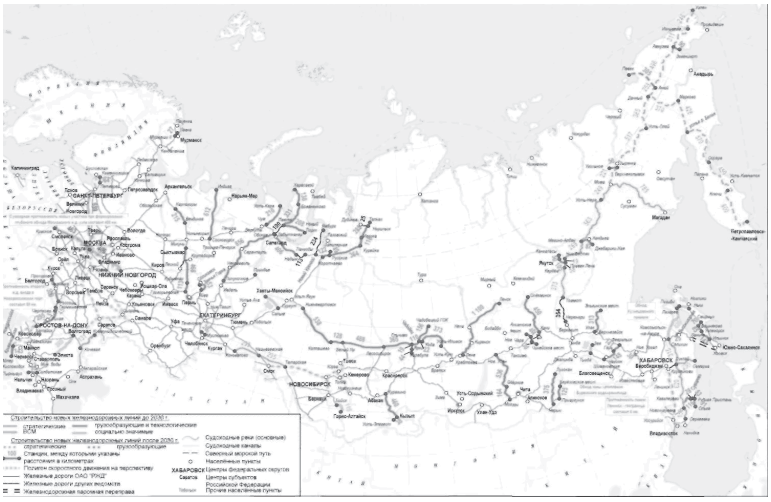


Рис. 10. Стратегия развития железнодорожного транспорта до 2030 года (максимальный вариант)

Таблица 1

Строительство железнодорожных линий за 2008-2030 гг.
(максимальный вариант)

№№	Категории линий	Перечень линий (км)	Округа	Цель строительства
1.	Стратегические	Гартмашевка-Чертково	ЦФО	Сохранение целостности ж/д сети
		Ахтуба-Паласовка	ЮФО	Сохранение целостности ж/д сети
		Татарская-Коновалово	СФО	Сохранение целостности ж/д сети
		Томмот-Правая Лена	ДФО	Обеспечение стабильного завоза грузов и создание опорной сети
		Правая Лена-Уэлен (3536)	ДФО	Объединение континентов, освоение ресурсов, создание опорной сети
		Селехин-Сергеевка (1085)	ДФО	Развитие подходов к новым портовым мощностям
		Сукпай-Самарга (290)	ДФО	Развитие подходов к новым портовым мощностям
2.	Социально-значимые	Волгоград-Элиста (260)	ЮФО	Прямой выход из Центральной России в Калмыкию
		Ханты-Мансийск-Салым	УрФО	Выход на сеть железных дорог
		Бийск-Горно-Алтайск (100)	СФО	Выход на сеть железных дорог
		Тыгда-Зея (105)	ДФО	Развите лесопромышленного комплекса,лесных перевозок
		Мома-Магадан (785)	ДФО	Стабильный завоз грузов, освоение ресурсов
		Селихин-Ныш (582)	ДФО	Бесперебойный ж.д. ход на о. Сахалин
3.	Грузообразующие	Беленихино-Яковлевский рудник (24)	ЦФО	Освоение Яковлевского месторождения железных руд
		Солдатская-Тырныауз (95)	ЮФО	Освоение месторождения минерально-строительных материалов
		Русское-Заполярная (49)	УрФО	Освоение Заполярного месторождения нефти и газа
		Обская-Полуночное (814)	УрФО	Ж/д выход промышленного Урала на месторождения Ямала
		Муслюмово-Теченское (20)	УрФО	Освоение Теченского месторождения магнетитовых руд
		Кызыл-Курагино (505)	СФО	Освоение Элегестского месторождения коксующегося угля
		Чадобец-Чадобецкий ГОК (156)	СФО	Освоение Чадобецкого месторождения алюминиевого сырья и редкоземельных металлов
		Чадобец-Кода (22)	СФО	Обеспечение производства алюминия
		Новая Чара-Апсатская (40)	СФО	Освоение Апсатского месторождения коксующегося угля
		Новая Чара-Чина (30)	СФО	Освоение Чинейского месторождения ванадийсодержащих титаномагнетитовых руд
		Лена-Непа-Ленск (1100)	СФО	Создание опорной сети для освоения нефтегазаконденсатных месторождений и лесных ресурсов

Продолжение таблицы 1

№№	Категории линий	Перечень линий (км)	Округа	Цель строительства
3.	Грузообразующие	Приаргунск-Березовское (125)	СФО	Освоение Березовского месторождения железной руды
		Нарын-Лугокан (375 км)	СФО	Освоение Быстринского месторождения полиметаллических руд
		Шимновская-Февральск (277 км)	ДФО	Освоение Гаринского железорудного местарождения
		Якутск-Кангалассы (50)	ДФО	Освоение Кангалласского месторождения угля
		Анюй-Певек (305)	ДФО	Освоение угольного месторождения
		Амгуэма-Эгвекенот	ДФО	Освоение угольного месторождения
		Верхнеколымск-Угольное	ДФО	Освоение угольного месторождения
		Мегино-Алдан-Джебарики-Хая (87)	ДФО	Освоение угольного месторождения
		Улак-Эльга (313)	ДФО	Освоение Эльгинского месторождения каменного угля
		Хани-Олёкминск (450)	ДФО	Освоение месторождения железной руды
		Ильинск-Углегорск (143)	ДФО	Освоение Солнцевского угольного месторождения
4.	Технологические	Петяярви-Каменогорск (64)	СЗФО	Вынос грузового движения на параллельный ход из-за организации скоростного пассажирского движения на существующей линии Санкт-Петербург-Выборг-Бусловская-Хельсинки
		Формирование глубокого обхода Московского узла (400)	ЦФО	Усиление пропускной способности и выноса транзитного грузового движения из крупных ж.д. узлов
		Сосногорск-Индига (612)	СЗФО	Подход к новому порту для вывоза лес- ных, минеральных и нефтегазовых ресурсов
		Воркута-Усть-Кара (210)	СЗФО	Выход из Воркутинского района к Баренцеву морю
		Карпогоры-Вендинга (215)	СЗФО	Альтернативное направление вывоза из Урала в порты Белого и Баренцева морей лесных ресурсов Европейского Севера
		Сыктывкар-Пермь (579)	ПрФО	
		Лихая-Батайск (147)	ЮФО	Создание специализированного пассажирского направления Центр- Юг
		Паюта-Бованенково (340)	УрФО	Транспортные связи с полуостровом Ямал, подходы к новым портовым сооружениям Северного морского пути и Новопортовскому углеводородному месторождению
		Бованенково-Харасавэй (130)	УрФО	
		Паюта-Новый Порт (208)	УрФО	

Продолжение таблицы 1

№№	Категории линий	Перечень линий (км)	Округа	Цель строительства
4.	Технологические	Прохоровка-Новый Оскол	ЦФО	Усиление пропускной способности и вынос грузового транзита
		Солоти-Кантемировка (174)	ЦФО	
		Обход Ярославского узла (27)	ЦФО	
		Обход Краснодарского узла	ЮФО	
		Обход Саратовского узла (38)	ПрФО	
		Лабытнанги-Салехард-Надым (406)	УрФО	Создание транзитного железнодорожного сообщения из ЯНАО в Северо-Западный регион, а также транспортное обеспечение, обустройство и эксплуатация нефтегазовых месторождений ЯНАО
		Коротчаево-Русское (122)	УрФО	Освоение Русского и Заполярного нефтегазовых месторождений, стабильное транспортное месторождение с г. Норильск и обустройство Месторождений Красноярского края
		Русское-Игарка (482)	УрФО	
		Игарка-Норильск (285)	СФО	
		Обход Пермского узла (140)	УрФО	Усиление пропускной способности и вынос грузового транзита
		Севсиб(Нижневартовска-Белый Яр-Усть-Илимск) (2002 км)	СФО	Создание альтернативной Северо-Сибирской магистрали для развития и обслуживания промышленной зоны в Нижнем Приангарье
		Обход Новосибирского узла	СФО	Усиление пропускной способности и вынос грузового транзита
		Карабула-Ельчимо (53)	СФО	Создание опорной транспортной сети Нижнего Приангарья
		Обход Иркутского узла (50)	СФО	Усиление пропускной способности и вынос грузового транзита
		Могзон-Новый Уоян (700)	СФО	Соединение БАМа и Транссиба, освоение месторождений
		Обход Читинского узла (27)	ДФО	Усиление пропускной способности и вынос грузового транзита
		Правая Лена-Якутск (43)	ДФО	Создание опорной сети для северного завоза и связи с г. Якутск
		Обход Кузнецовского тоннеля (25)	ДФО	Увеличение пропускных способностей направления Комсомольск-Совгавань в связи с ростом грузопотока в порт Ванино
		Новочугуевка-б.Ольга, Рудная Пристань (288)	ДФО	Развитие подходов к новым портовым сооружениям на тихоокеанском побережье и освоение месторождений

Окончание таблицы 1

№№	Категории линий	Перечень линий (км)	Округа	Цель строительства
4.	Технологические	Вынос участка Известковая-Чегдомын (30)	ДФО	Вынос участка из зоны затопления водохранилищем Бурейской ГЭС
		Углегорск-Смирных (155)	ДФО	Создание дополнительной транспортной связи между восточным и западным побережьем о. Сахалин
5.	Высокоскоростные магистрали	Санкт-Петербург-Москва (659)	СЗФО ЦФО	Организация скоростного пассажирского сообщения Северо-Западного, Центрального, Южного федеральных округов и повышение качества обслуживания пассажиров
		Центр-Юг (1740)	ЦФО ЦФО ЮФО	

Проект стратегии Минтранса до 2030 года вообще не опирается не только перспективную грузовую базу, но и не учитывает нового предназначения, миссии транспорта России в современных условиях. В этом принципиальное отличие разрабатываемого проекта от Стратегии 2020 г.

Таким образом обе транспортные стратегии идут в разрез с установками Президента Российской Федерации. Отсюда следует, что транспортная стратегия и транспортная политика должны уходить от старого типа мышления, когда строятся магистрали от месторождений до морских портов, а терминалы специализируются в большинстве своем на экспорте сырья, когда при транспортном обустройстве игнорируется национальная безопасность во всех ее аспектах.

При инновационном пути развитии страны структура грузового потока будет значительно меняться. Это значит, будут другие объемы, веса, габариты и направления транспортировки грузов. Существенно изменится структура промышленности, сформируется иная, более смещенная на Восток мозаика территориального размещения производительных сил, возникнут новые центры грузозарождения и грузопоглощения. Все это учесть не сможет отдельная отрасль, да, это и не ее задача. Если же реализовать полностью предложенный вариант железнодорожной стратегии, то придется в дальнейшем проводить значительные изменения в проектируемую инфраструктуру, нести значительные дополнительные расходы.

II. В этой связи для России представляется целесообразным переходить от чисто транспортных проектов к организации транспортно-промышленных поясов (ТПП). Для «прорыва» России в будущее нужны инфраструктурные транспортно-промышленные проекты «векового» (стратегического) масштаба.

К ним можно отнести группу «восточных» проектов, а также «каспийский» проект (рис. 11).

Главным из проектов может стать **Северный широтный транспортно-промышленный пояс (СШ ТПП)** (рис.12).

Его инфраструктурной основой явится сквозная Северо-Российская Евразийская железнодорожной магистраль, по линии Сахалин

Рис. 11. Стратегические транспортно-промышленные пояса России в XXI веке

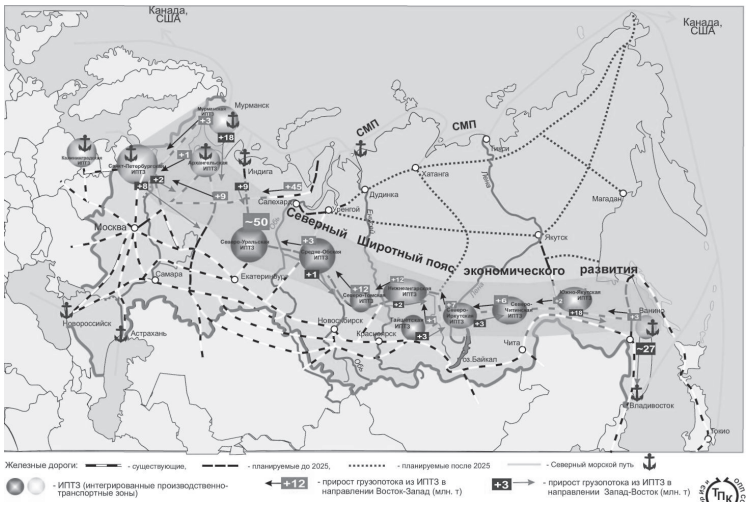


Рис. 12. Северный широтный транспортно-промышленный пояс

- БАМ — Севсиб — Баренцкомур (Белкомур), с комплексным промышленным освоением прилегающей полосы, как основы формирования нового Северного широтного пояса экономического развития в России.

Северный широтный транспортно-промышленный пояс создаст принципиально иную ситуацию для развития страны, совершенно новые возможности для позиционирования России в мире. В этом случае не только будет резко усилен общий промышленный потенциал страны, но он охватит и новые обширные территории, создаст благоприятные условия для их хозяйственного освоения. Пояс станет опорным для продвижения хозяйственной жизни на север страны к новым месторождениям, к Северному Ледовитому океану с природными богатствами, заложенными в донной части его российского сектора.

Основная специализация СШ ТПП будет базироваться на отраслях, связанных с широким использование местного рудного, энергетического сырья и леса. Основу должны будут составить металлургия и на ее базе машиностроение самого широкого спектра, включая транспортное всех видов, деревопереработка и т.д. Местные энергетические ресурсы являются необходимой исходной базой для всей промышленности, включая нефтепереработку и нефтехимию, транспорта, коммунальной сферы.

В зоне этого пояса будут сформированы перспективные интегрированные промышленно-транспортные зоны (ИПТЗ) Байкало-Амурской магистрали, табл. 2.

Их производственная направленность демографическая перспектива показаны в табл. 3.

Этот Северный широтный ТПП охватит Сахалин, переход на который уже намечен транспортной стратегией. Появление нового глубоководного морского порта Ильинск обеспечит расширение возможностей страны по связям с АТР.

В рамках Северного широтного ТПП будет активно развиваться и Европейский Север с выходом на Белое, Баренцово и Балтийское моря. Там будут формироваться свои интегрированные промышленно-транспортные зоны, со своей производственной специализацией сырьевой, промышленной, внутриэкономической интегрированной с регионами России и экспортной, рассчитанной на Европу, Малую Азию (рис. 13).

III. Транспортно-промышленный пояс Восточного участка Транссиба, (от г. Владивостока до г. Иркутска) нужен для усиления восточного участка Южного экономического пояса России в новых геополитических и геоэкономических условиях первой половины XXI в. Срединное местоположение этого региона на МТК «Запад-Восток» должно принци-

Таблица 2

Перспективные ИПТЗ на Байкало-Амурской магистрали

ИПТЗ	Грузообразующие ареалы (существующие или потенциальные)	Основные транспортные узлы (существующие или потенциальные)
Северо-Иркутская	Братский Усть-Илимский Железногорский	Братск Усть-Илимск Усть-Кут
Северо-Читинская	Удоканский Чинейский	Новая Чара
Южно-Якутская	Нерюнгринский Эльгинский	Беркакит Тында
Ванино-Совгаванская		Порт Ванино Порт Советская Гавань
Тайшетская	Тайшетский	Тайшет

Таблица 3

Прогноз ориентировочных грузопотоков и численности населения в ИПТЗ на 2025 г.

ИПТЗ	Грузы	В направлении, млн. т		Численность, тыс. чел.
		Западном	Восточном	
Порт Ванино — Сов. Гавань	Контейнеры	1,5		50-60
	Экспорт		25,0	
	Импорт	5,0		
Южной Якутии (Тында)	Уголь, коксующийся	1,2-1,5	15,0	60-70
	Лесопродукция	0,5	3,0	
Северо-Читинская	Концентраты цветных металлов	5,5-6,0		40-50
Северо-Иркутская	Железная руда	4-5		300-320
	Лесопродукция	1,5	2,5	

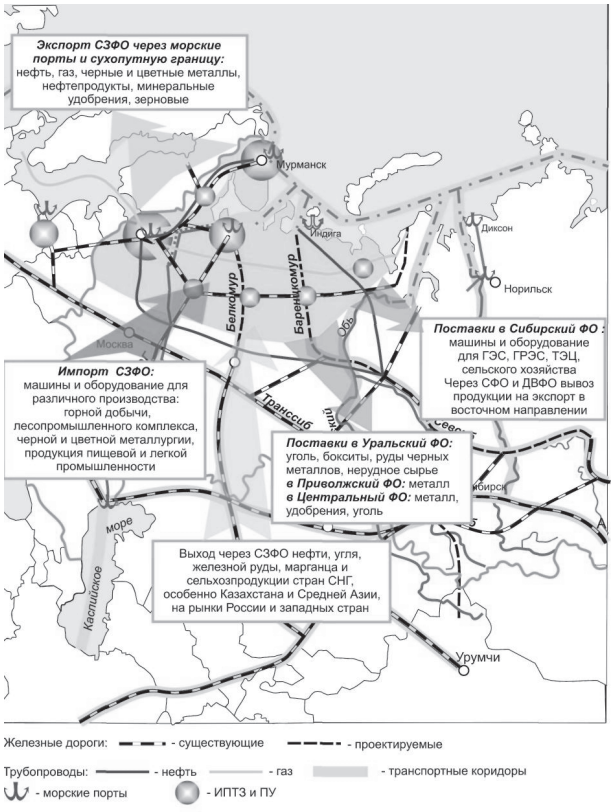


Рис. 13. Северо-западный участок Северного широтного транспортно-промышленного пояса России

пиально изменить отношение России к выгодам МТК. Для России важен международный евроазиатский транзит, о котором постоянно говорят на всех уровнях управления. Но многократно более важным является другой фактор, который используется всеми странами, кроме России. Этим фактором является организация экспортного промышленного производства на участках МТК. Для этого во всех странах идут на создание совместных предприятий, на формирование особых экономических зон, привлекающих иностранные инвестиции и технологии.

В зоне ТПП Восточного участка Транссиба кроме уже имеющихся крупных городов должно появиться значительное количество молодых промышленных центров.

На этом транспортно-промышленном поясе наряду с разнообразной промышленностью, специализирующейся на глубокой деревопереработке, машиностроении самого широкого спектра, должно быть кардинальным образом усилено судостроение. Для эффективного судостроения имеется сырьевая база, кадровая и производственная основа. Заводы Благовещенска, Комсомольска-на-Амуре, Владивостока и ряда других городов этой зоны, их более десятка, оснащенные но- вейшим технологиями, должны начать выпуск морских судов нового поколения. Эта зона должна стать тем восточным центром российского судостроения, который изменит роль России в мировом судоходстве. Страна, омываемая двумя океанами и более чем десятком морей, по праву и по возможностям должна войти в группу лидеров освоения Мирового океана.

IV. Восточный меридионально-широтный транспортно-промышленный пояс

(ВМШ ТПП): Завершение строительства Амуро-Якутской железнодорожной магистрали с ее продолжением на Камчатку может обеспечить формирование Дальневосточного меридионально-широтного пояса экономического развития страны.

Этот пояс совершенно по иному позиционирует Россию в АТР и во всем мире. Россия, наконец, выйдет в открытый Мировой океан, минуя заградительные зубья Курильской гряды. Охотское море, вдоль западного побережья которого создается комплекс полной рыбопереработки, вновь станет «российским аквариумом». Только отсюда конечная рыбная продукция должна уходить в Россию и за рубеж.

Ключевыми объектами на Восточном меридионально-широтном ТПП, должны стать Олюторская (Тихоокеанская) интегрированная производственно-транспортная зона (ИПТЗ) на берегу Тихого океана в основании Камчатки, в зоне, удаленной от частых тектонических проявлений.

Другим перспективным объектом данного ТПП является г. Якутск, приобретающий совершенно иное качество — Северо-Восточного промышленного инновационного, транспортного и логистического центра.

Однако развитие получат и все другие без исключения населенные пункты, расположенные в этой зоне.

V. Для транспортно-промышленного развития Сибири и Дальнего Востока ключевое значение имеет создание особых экономических зон (ОЭЗ). Их должно быть столько, сколько необходимо для решения конкретных задач, связанных с формированием новых производств, с началом интенсивного развития конкретных регионов.

Показательным примером подобного эшелонированного подхода к формированию пространства подобных зон является Китай, рис. 14.

Стратегический подход Китая к формированию зон должен быть воспринят Россией. Общим для обеих стран является общий масштаб освоения территорий. С той лишь разницей в Китае развитие идет с востока на запад, а в России с запада не восток. Но есть и специфика стран, особенно в численности населения, накладывающая свои требования на типы зон их размещение их связи. Так в России должен быть создан свой, отвечающей российской специфике тип — распределенные ОЭЗ.

Успех может быть достигнут только на основе научно обоснованной стратегии формирования цельного, определенным образом структурированного пространства особых экономических зон в России с учетом специализации, с разнообразным набором налоговых

Рис. 14. Специальные экономические зоны Китая

льгот, организационных особенностей. Такая государственная стратегия обеспечит и ускоренный экономический рост, и инновационное развитие, и создание образцовых условий для жизни населения.

VI. Большое значение при транспортно-промышленном освоении Азиатской части России представляют новейшие технологии. Только они позволят обеспечить экономическую посильность для государства и привлекательность для частного капитала реализации столь масштабных проектов. В первую очередь это касается транспортных магистралей. Например, именно здесь - на болотах, на вечной мерзлоте (рис. 15) на пересеченной местности должны быть проложены максимально спрямленные надземные трассы новых видов транспорта.

Примером такой технологии является система надземного рельсового транспорта на основе напряженных стальных направляющих, созданных по специальной волоконно-струнной технологии. Реализуемость системы подтверждена экспериментально.

Эта технология обеспечит особый экономический эффект, сохранит неразделенность экосистемы, время проезда жителя восточных регионов в центр страны сократится в разы. Люди и экономическое пространство получат качественно новые возможности, иную мобильность, иные стимулы к развитию и качеству жизни. Восток страны перестанет быть оторванным от ее центра

VII. Важнейшим технологическим направлением становится создание речных и морских судов нового поколения

На реки Сибири и Дальнего Востока, учитывая короткое время навигации, должны выйти высокоскоростные суда нового поколения, в том числе на подводных крыльях, включая однокорпусные, катамараны и особенно тримараны.

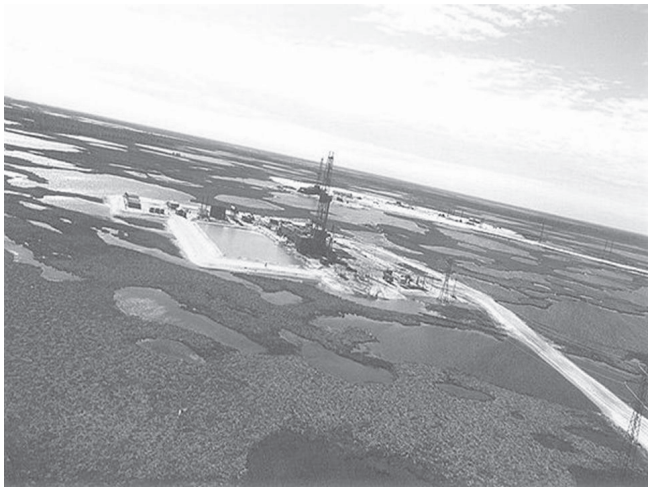


Рис. 15 Типичная картина многих территорий Сибири

Не обойтись без новых амфибийных транспортных средств: судов на воздушной подушке, экранопланов, обеспечивающих транспортное сообщение по руслам рекам как во время навигации, так и после ледостава, по слабо всхолмленным пространствам суши, по акваториям омывающих морей. Они обеспечат не только регулярную, но и экстренную связь с отдаленными регионами Камчатки, Курильских островов и Чукотки.

Суда нового поколения, отработанные на реках и прилегающих морях России, должны массово выйти в Мировой океан и кардинально укрепить позицию России как морской державы. Это должно стать одной из ключевых задач отечественной транспортной политики.

В итоге транспорт при развитии Азиатской части России с его гигантскими потребностями становится инициатором промышленного развития в Сибири и на Дальнем Востоке. Одновременно с этим он явится Заказчиком огромного производственного заказа всем старопромышленным регионам. Таким образом, станет инициатором ускоренного роста экономики всей страны.

В результате формирования транспортно-промышленных поясов Азиатской части России в стране может быть образовано новое экономическое пространство, оптимизированное по территории, по возможностям, по реальной экономике. Кроме того, Россия может значительно усилить свое участие в формировании международных транспортных коридоров, связывающих Азию и Европу.

Восточные транспортно-промышленные пояса во взаимосвязи с южным Кругокапийским транспортно-промышленным поясом позволят сформировать совершенно новую, экономически взаимосвязанную и активную конфигурацию экономического пространства России (рис. 16).

Такие пояса могут обеспечить взаимодействие России с Восточной, Южной, Малой Азией, Европой, стать материальной основой восстановления лидирующего статуса России в промышленности, транспорте и политической структуре на Евразийском континенте и мире.

Перечисленные транспортно-промышленные проекты обладают огромной организу-

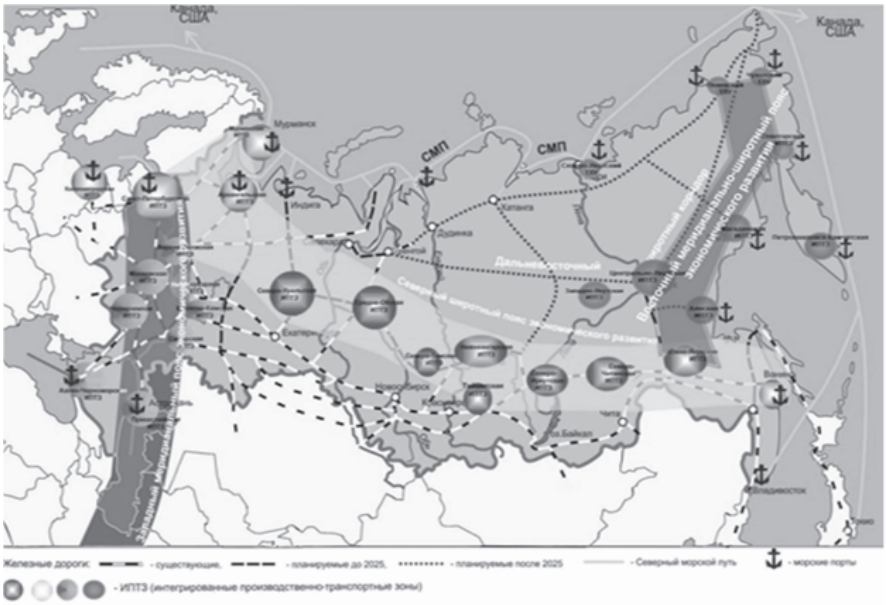


Рис. 16. Перспектива формирования транспортно-промышленных поясов России

ющей, созидательной силой. Именно реализация этих проектов может инициировать творческий порыв миллионов соотечественников, особенно людей молодых, у которых, наконец-то, появится вдохновляющая цель в жизни. Эти проекты могут вдохновить всю страну, дать импульс развития во все регионы, воздействовать на ключевые отрасли промышленности и кардинально изменить мнение о России в мире.

Транспортно-промышленные проекты являются судьбоносными для России. От них зависит, останется ли Россия Великой, сохранит ли контроль за своими сырьевыми и промышленными ресурсами, а также свою территорию в неприкосновенности.

Таким образом, транспорт России на современном историческом этапе становится не просто отраслью экономики, а инициатором прорывного развития нашей страны в XXI веке.

Каштанов Ю.Б., Узунов В.Г., Резник И.Ю.

УДК 007; 681.3

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД В РАЗРАБОТКЕ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИХ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Опережающее развитие транспортной системы по сравнению с другими отраслями стало закономерным отражением перемен, происходящих в последнее десятилетие в России. Вместе с тем на внутреннем рынке наблюдается недостаточное качество предоставляемых услуг, высокий уровень издержек, сохранение высоких показателей транспортной аварийности и негативного экологического воздействия транспорта. На международном рынке транспортных услуг в условиях постоянного ужесточения требований к транспортным системам конкурентоспособность отечественных транспортных технологий становится серьезной проблемой. Это требует разработки организационных и научно-методических основ стандартизации, сертификации и управления качеством продукции в рыночных условиях [1], [2].

В связи с этим скорейшее решение существующих проблем качества транспортных услуг, включая безопасность, приобретает определяющее значение в повышении эффективности деятельности предприятий железнодорожной отрасли и их выживаемости в условиях конкуренции, носят научный и практический характер. В результате структурных реформ произошло разделение функций хозяйственного управления и государственного регулирования, что повлекло за собой сужение функций структурных составляющих системы управления и необходимость разработки многих нормативно-правовых документов, регламентирующих процедуры исполнения ряда функций системы управления. Это, в первую очередь, относится к стандартам отрасли в области безопасности перевозок, которые устанавливают формы показателей безопасности перевозок пассажиров и грузов, функционирования технических средств и персонала, процедуры нормирования показателей безопасности перевозок и функционирования технических средств, технологии определения нормативных параметров состояния технических средств по нормативным значениям показателей безопасности их функциониро-

вания. Актуальность исследований в этом направлении обусловлена также необходимостью обеспечения безопасности транспортных систем на основе реализации системных улучшений качества технологических процессов и повышения надежности технических средств, что требует дальнейшего развития теории и практики управления транспортными системами (ТС) и корректировки существующей классификации задач безопасности, надежности, качества, рисков в транспортной сфере [3].

I. Организационная структура российской системы управления безопасностью перевозок имеет три иерархических уровня (федеральный, отраслевой, уровень предприятий) и опирается на автоматизированную систему управления безопасностью движения АСУ-БД. Наиболее полно системный подход в разработке управления безопасностью на железной дороге нашел свое отражение в проекте «Концепции информационной подсистемы многоуровневой системы управления и обеспечения безопасности движения поездов (АСУ МС)». Эта система третьего уровня совместно с новой системой централизованного управления движением поездов определяется как совокупность технических и организационных мероприятий по управлению и осуществлению перевозок, позволяющая обеспечить безопасность движения поездов и в каждом элементе каждого контура управления, и в системе управления в целом. Под контуром управления понимается совокупность организационно-технических средств, обеспечивающих управление движением поездов и обеспечением безопасности. Безопасность в таком подходе, в значительной степени, определяется надежностью технических средств: пути (верхнее строение пути, рельсы, стыки и др.), искусственных сооружений — ИССО (мосты, путепроводы, тоннели и др.), подвижного состава (вагонов, локомотивов и др.), энергоснабжения, автоматики, связи. В каждом из хозяйств, отвечающих за эксплуатацию технических средств, должна быть обеспечена система мероприятий, не допускающих появления опасных отказов технических средств, приводящих к нежелательным последствиям. Вопросы повышения безопасности движения, рассматриваемые в рамках организационно-эксплуатационного аспекта, решаются комплексно и сводятся к разработке и уточнению отраслевых стандартов, инструкций и требований по безопасности движения поездов. Новым направлением в обеспечении безопасности становится ориентация на развитие технологий прогнозирования, упреждения появления нежелательных эффектов. Отметим, что многие вопросы, актуальные для транспортных систем, получили развитие в других отраслях промышленной деятельности, что позволяет создать бузу для построения иерархии моделей для систем управления.

В настоящей статье рассмотрены общие положения по организации и описанию глобальной модели взаимодействия различных уровней транспортной системы, с использованием обобщенных параметров, называемых состояниями $\{S_1,...S_n\}$. Для нижних уровней иерархии объекта управления, отражающих состояние технологического оборудования и систем автоматики определены задачи диагностики, что, в целом, позволяет сформулировать требования к АСУ ТП объектов и к уровню процессов управления на железной дороге, обеспечивающего поддержку решений на основе обработки необходимой информации [4].

Одним из направлений при реформировании системы менеджмента в железнодорожной отрасли становится управление рисками, в состав которого должна войти система мониторинга и обеспечения безопасности, что связано с решением задач:

- создания научно обоснованной методической базы получения предельных состояний технологических систем с учетом риска возникновения катастрофических ситуаций;

- создания нормативно-правовой основы для легитимизации представлений о возможности существования (как нормы) некоторых приемлемых или допустимых состояний технологических систем с обеспечением риска безопасных отклонений от этого уровня с последующим регулируемым возвращением системы в штатное состояние.

С учетом таких обстоятельств понятие «снижение рисков» должно, по существу, отражать вероятностную трактовку возникновения чрезвычайных ситуаций, её связь с анализом запроектных и гипотетических сценариев развития происшествий. При этом рациональной представляется ориентация не на абсолютный, а на относительный уровень сопоставляемых рисков. Как первый шаг, целесообразным становится создание системы обобщенных моделей для анализа риска *R*, сцена-

риев и катастроф, ущербов U, деструкции и базовых повреждений, что требует создания определенных постоянно действующих организационно-технических структур (например, в виде региональных центров мониторинга, прогнозирования и обеспечения безопасности сложных технических систем)[5].

Что касается вероятностных характеристик P, условий возникновения и развития аварий и катастроф, то они определяют степень опасности природных и технологических процессов в технических системах, и вовлеченных во взаимодействие материалов и веществ. В этом случае можно полагать, что

$$P = F(Q, N, x, t, S), \quad (1)$$

где Q - экстремальные или близкие к ним внешние и внутренние воздействия и нагрузки; N, x - цикличность и длительность воздействий; t - уровни температуры; S- параметры прочности материалов. Система обеспечения безопасности технических систем в зависимости обобщенного риска от основных факторов влияния имеет вид:

$$R = F(U, P) < F(Z, k), \quad (2)$$

где U - экономические факторы; Z- затраты на снижение рисков; k - коэффициент эффективности затрат (желательно обеспечить $k >> 1$).

Создаваемые транспортные системы (ТС) обладают определенной спецификой, сопровождаемой соответствующей расстановкой акцентов на соотношениях понятий безопасность, надежность и живучесть, что требует определения некоторых границ в понятийных полях. Предметом надежности можно считать существенные системные связи и причинно-следственные взаимодействия, не выходящие за рамки ТС. Предметом живучести и безопасности являются существенные причинно-следственные взаимодействия среды с системой, причем, в случае живучести причина генерируется окружающей средой (ОС), а следствия проявляются в ТС; в случае безопасности — причина генерируется самой ТС, следствия не проявляются в ОС. Таким образом, свойство надежности можно характеризовать, в основном, как внутреннее свойство ТС, характеризующее устойчивость функционирования системы по отношению к внутренним системообразующим факторам. Живучесть характеризует стойкость ТС, в основном, к внешним (а не внутренним) воздействиям со стороны ОС при возникновении и развитии допустимых повреждений в ТС. Важное значение в повышении безопасности ТС имеет структурная и функциональная избыточность.

II. В развиваемом подходе выделяются три основных организационных принципа обеспечения безопасности ТС: культура безопасности, ответственность эксплуатирующей организации, обеспечение нормативного регулирования и проверки деятельности, связанной с безопасностью. При рассмотрении технологии повышения надежности и безопасности сложных объектов целесообразным представляется комплексное восприятие проблемы, предполагающее упреждение событий и прогнозирование ситуаций, что связано с задачами идентификации и формированием системы ключевых показателей и может решаться на основе метода FMEA (Potential Failure Mode and Effects Analysis), позволяющего вести анализ видов и последствий потенциальных отказов [6].

Сравнительный обзор работ по формированию российской и зарубежной нормативных баз по безопасности показывает, что в железнодорожной отрасли развитие событий идет в двух направлениях: совершенствование в техническом плане и детализация отношения к качеству продукции или услуг. Такой подход позволяет ставить вопрос не только о качестве транспортных услуг, но и качестве управления, о менеджменте качества, как наиболее общей категории, определяющей уровень качества всей системы. В этом плане заслуживает внимания опыт накопленный в электроэнергетике, атомной энергетике, трубопроводном транспорте углеводородного сырья [7].

Управление безопасностью в железнодорожной отрасли реализуется на основе системы управления безопасностью перевозок, которая состоит из совокупности функционально взаимодействующих технических средств и персонала, обеспечивающих безопасность заданного уровня при минимальных ресурсах, предполагает изучение специфики. Основные усилия при создании системы ориентированы на два направления. Во-первых — это массовое внедрение современных технически средств (обновление подвижного состава, автоматика, информационные технологии); второе — работа с кадрами, всемерное повышение требовательности и персональной ответственности всех уровней управления за обеспечение каждым исполнителем требований

безопасности, строгий отбор кадров, их подготовка и обучение, повышение уровня контроля [8].

Хотя по абсолютному числу чрезвычайных происшествий и количеству погибших в них людей железнодорожный транспорт является одним из наиболее безопасных, отклонений все же бывает достаточно много. В целом по отрасли с 1992 по 2002 год количество крушений сократилось в 4 раза, аварий — в 6 раз, травмирования пассажиров редки. В настоящее время острой проблемой стали сходы вагонов в грузовых поездах. Для ликвидации такого явления ужесточается контроль качества ремонта ходовых частей подвижного состава, осуществляется модернизация грузовых вагонов, совершенствуются режимы ведения поездов, проводится активная работа по повышению безопасности на пересечении автомобильных и железнодорожных путей и др. В целом взаимодействие и увязка вопросов качества и безопасности становится реальной основой действий.

В связи с междисциплинарным характером понятий безопасности и качества обеспечение «стыкуемости» разработок, проводимых в различных отраслях, являются достаточно сложной проблемой. Качество и безопасность выступают неразрывными понятиями на транспорте. Качество, как оно определено в стандарте, это степень соответствия присущих характеристик требованиям потребителей. Управление качеством транспортных услуг формирует важные предпосылки обеспечения безопасности. К примеру, концепция корпоративной системы менеджмента качества на железной дороге определяет в качестве приоритетов: обеспечение высокого качества технологий во всех сферах деятельности компании и приоритетность требований безопасности движения и персоналами перед эксплуатационными показателями работы компании [6].

В формализации представлений о состоянии транспортной системы (ТС) большое значение имеет мониторинг, который определяется автором как специально организованное систематическое наблюдение за состоянием объектов. Целью мониторинга объектов является сбор, накопление и обработка информации, а также оценка на её основе класса состояния объекта. Безопасность объекта трактуется как состояние его защищенности от внешних и внутренних угроз, поэтому с помощью мониторинга можно определить класс этого состояния и выбрать необходимый набор организационно-технических мероприятий.

Транспортная система характеризуется следующими особенностями: определенной структурой; зависимостью от внешней среды и влиянием системы на внешнюю среду; наличием количественных характеристик, определяющих состояние системы в каждый момент времени; участием некоторых случайных факторов на функционирование системы. Представим ТС в виде упорядоченной пары $S=(A,R)$, где A- множество подсистем и элементов; R - множество отношений. Это позволит представить ТС в виде иерархической структуры, содержащей подсистемы, компоненты и базовые элементы. С точки зрения безопасности перевозок базовые элементы описываются совокупностью параметров состояния. Часть из этих параметров может быть отнесена к исходным, другие являются интегрированными (на основе предварительной обработки исходных данных). Рассмотрим многоуровневую ТС: на верхнем уровне находится сама ТС, следующий уровень — её основные подсистемы (обозначим через i - номер подсистемы, n - число подсистем). Обозначим через P_i некоторый показатель безопасности ТС. Этот показатель можно представить в виде аддитивной (3) или мультипликативной (4) модели

$$P_i=\sum_{i=1}^{n} x_i f_{ij}, \sum_{i=1}^{n}=1, \quad (3)$$

$$P_i=\prod_{i=1}^{n} f_{ij}^{x_i}, \sum_{i=1}^{n} x_i=1, \quad (4)$$

где f_{ij} - значения -го показателя ТС для i-ой подсистемы; x_i - значение весового коэффициента для i-ой подсистемы; n- число подсистем; $j=\overline{1,y}$; y - число показателей безопасности для ТС. Наиболее существенное отличие мультипликативного показателя (4) от аддитивного (1) заключается в том, что аддитивный показатель базируется на принципе справедливой абсолютной уступки, а мультипликативный — на принципе относительной уступки. Суть уступок заключается в том, что снижение оценок одних факторов не превышает повышения остальных. Весовые коэффициенты можно определить экспертно, значения параметров безопасности находятся расчетными или экспертным методом. Аналогично можно представить и показатели безопасности через значения показателей нижестоящего уровня и так

дойти до базовых элементов ТС. В работе авторов [9] показано как эти показатели используются в системе мониторинга ТС, если определить для каждого параметра границы классов состояния безопасности. Зная класс состояния можно определиться с набором организационно-технических средств обеспечения безопасности и оценить как долго ТС будет находиться в этом состоянии. В работе [11] представлен вероятностный подход, где вводится понятие x - времени нахождения ТС в некотором состоянии, как некоторой случайной величины с функцией распределения $F(x)$ - вероятности того, что до времени x произойдет изменение состояния. Тогда

$$P(x) = |-F(x)| \qquad (5)$$

представляет вероятность того, что до времени x не произойдет изменения состояния. Аналогично может быть введено:

1.среднее время нахождения в состоянии

$$\bar{x} = \int_0^\infty P(x)dx; \qquad (6)$$

2. остаточное время при условии, что до времени t ТС не изменит своего состояния

$$y_t = x - t; \qquad (7)$$

3. закон распределения для остаточного времени (5)

$$F_i(y) = \left[F(t+y) - F(t)\right] / P(t), \qquad (8)$$

где $P(t)$ определяется из (3); тогда вероятность того, что до времени не произойдет изменения состояния для остаточного времени имеем

$$P_t(y) = |-F_t(y) = P(t+y)|P(t). \qquad (9)$$

Зная (6) и (7), можно найти среднее остаточное время

$$\overline{y_t} = \int_0^\infty P_t(y)dy. \qquad (10)$$

Проблема вычисления (10) заключается в обосновании функции распределения $F(x)$ и определении её параметров, для чего предложен метод приближенных вычислений. В развитие предложенного подхода разработана методика формирования показателей экспертным методом. Авторами работы [10] рассматривается три метода обработки экспертной информации: простое ранжирование, алгоритм агрегирования, метод анализа иерархий; проведено сравнение экспертных методов для оценки значений показателей безопасности подсистем.

Экспертные оценки показателей безопасности ТС, входящие в модели (1), (2), могут быть точечными (одно число из некоторого диапазона) или интервальными, когда эксперт указывает интервал, содержащий оценку. В рассматриваемых случаях распределением на интервале (a,b) является бета-распределение с параметрами α и β ($\alpha, \beta \geq 1$)

$$f(y) = \frac{\Gamma(\alpha+\beta)}{(b-a)\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)}\left(\frac{y-a}{b-a}\right)^{\alpha-1}\left(\frac{b-y}{b-a}\right)^{\beta-1}, \qquad (11)$$

где $\Gamma(x)$ гамма-функция. Математическое ожидание и дисперсия для бета-распределения равны

$$m_y = a + \frac{(b-a)\alpha}{\alpha+\beta};\ D_y = \frac{(b-a)^2\alpha\beta}{(\alpha+\beta)^2(\alpha+\beta+1)}. \qquad (12)$$

При интервальном оценивании возможны три варианта организации работы:

1. эксперт задает только интервал (a,b). В этом случае бета-распределение является равномерным законом ($\alpha = \beta = 1$);

2. эксперт задает интервал и не различает наиболее вероятное значение (M_y) от математического ожидания (m_y), а отмечает лишь их равенство, $M_y = m_y$, ($\alpha = \beta > 1$). (в этом варианте для определения параметров бета-распределения использовано дополнительное условие — «правило трех сигм», при котором среднеквадратичное значение при интервале (0,1) $\sigma = 1/6$; с учетом (10) и этого условия, $\alpha = \beta = 4$);

3. эксперт задает интервал, а также наиболее вероятное значение и математическое ожидание ($M_y \neq m_y$) (в этом случае

$$\alpha = \frac{m_y^*\left(2M_y^* - 1\right)}{M_y^* - m_y^*};\ \beta = \frac{1-m_y^*}{m_y^*}\alpha, \qquad (13)$$

где M_y^*, m_y^* - наиболее вероятное значение и математическое ожидание на интервале (0,1)).

Во всех трех вариантах значения экспертной оценки получается моделированием по одному из алгоритмов для бета-распределения. Для повышения качества информации она дополнительно проверяется статистическими методами, в частности предлагаются непараметрические методы статистики. Дополнительно используя критерий Уилкоксона-Манна-Уитни (U-критерий), можно проверить, отличаются ли статистически ранжировки показателей между разными группами экспертов. Кроме того предлагается использование рангового коэффициента корреляции по Спирмену. Необходимость использования этого коэффициента связана с тем, что он позволяет сравнивать выборки, уже представленные в виде рангов, в то время как для U-критерия выборки представлены в виде вещественных чисел.

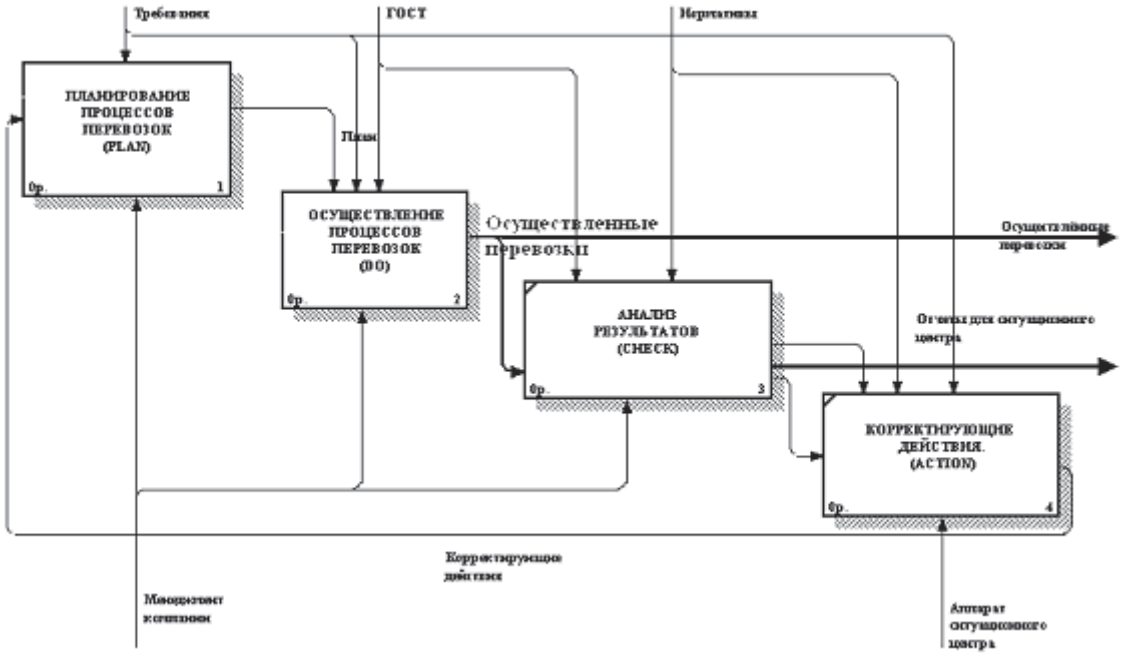


Рис. 1. Цикл Деминга для процесса перевозок

III. Система менеджмента качества (СМК) должна быть частью системы, ориентированной на достижение результатов, основанных на обеспечении потребности клиентов, и опираться на принципы TQM, соответствующих ГОСТ ИСО-9001-2001. В соответствии с этими принципами любой процесс жизненного цикла, в том числе и перевозочный процесс, может быть построен в соответствии с циклом Деминга (рис. 1). Поскольку качество первично по отношению к безопасности рассматриваются подробности определения категории качества и её взаимосопрягаемости с безопасностью.

Среди технических свойств, надежность занимает особое положение и отличается от прочих свойств, входящих в определение понятия качества, что позволяет расширить представления о свойствах системы, опирающихся на восприятия комплексного характера свойств надежности путем введения для транспортных систем таких понятий как отказов работоспособности, отказов функционирования, устойчивой способности, режимной управляемости.

Создание единого нормативного пространства в транспортной сфере и, прежде всего, на железнодорожном транспорте в условиях либерализации транспортных услуг требует разработки единой методики анализа и прогноза обеспечения безопасности процессов, кроме того разработки и принятия нормативных актов, обеспечивающих гармонизацию российского технического законодательства с международными стандартами. Для потребителей транспортных услуг важна мера надежности, знание которой дает возможность принятия соответствующих решений. Такой мерой является риск, однако такой подход требует учета междисциплинарной природы этого понятия, соотнесения его с проблематикой менеджмента качества транспортных услуг. Положительным моментом в таком подходе является вероятностная природа рисков. В предыдущих работах авторов рассматриваются методические аспекты технических и правовых процедур, которые могли бы быть предложены для создания единой теории безопасности транспортных систем, включающих в свой состав: цепи, события в рисковых ситуациях, рисковые события, назначение, выбор

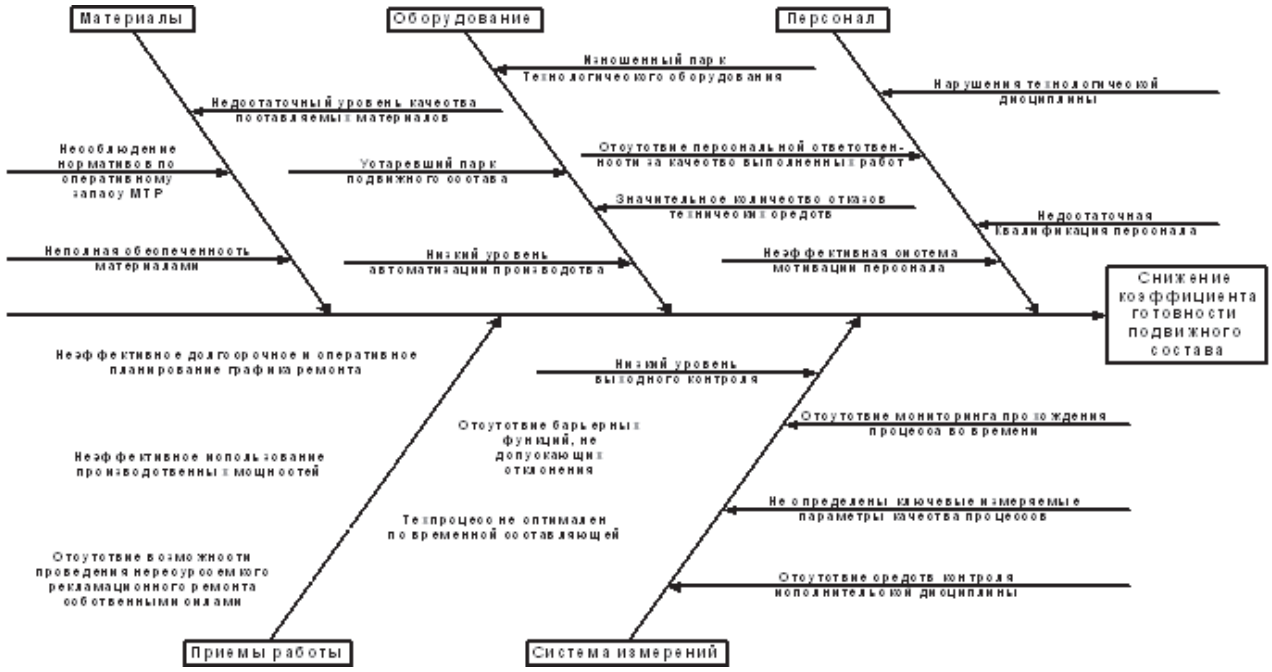
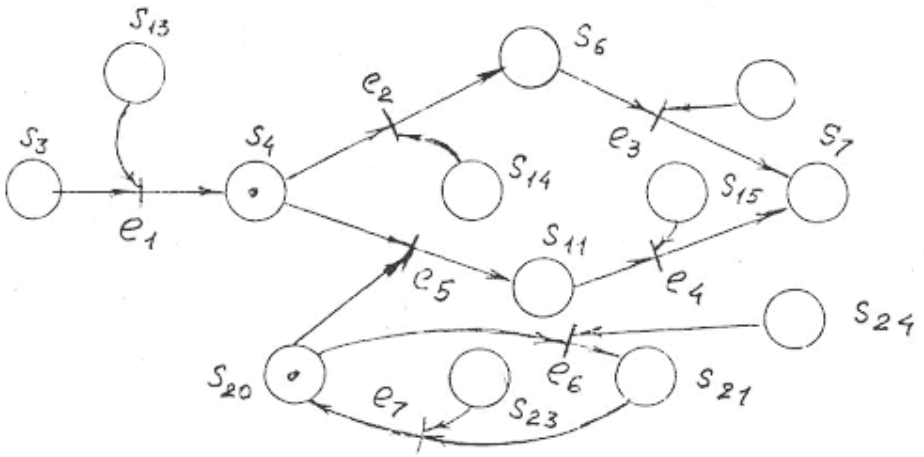


Рис. 2. Диаграмма Исикавы для идентификации объекта

приемлемого риска, оценивание значений целевого уровня риска при управлении движением на транспорте, «взвешивание» рисков. Предлагается обоснование схемы измерения управляемых рисков на транспорте на основе использования некоторых идей из гражданской авиации для разработки процедур вычисления меры рисков на транспорте с учетом идей формализованного анализа безопасности. Теоретическую основу подхода составляет метод прогнозирования аварийных ситуаций с помощью цепи случайных событий. Понятие управляемый риск или просто риск обозначает в широком смысле некоторую потенциальную опасность с возможными последствиями в виде определенного ущерба или вреда. Управляемость обозначает возможности некоторого влияния или воздействия на степень опасности [4]. На рис. 2 приведен пример построения диаграммы Исикавы для одного из ключевых параметров на железной дороге — снижения коэффициента готовности подвижного состава.

Подходы, основанные на использовании сетей, выступают инструментом для моделирования и решения задач в области параллельных систем и асинхронных процессов, каковыми являются аварийные процессы в транспортной сфере. В частности, большой интерес представляют сеть Петри $F=(S,E,p,\omega)$, в которой $S=\{S_1,S_2,...,S_n\}$ - конечное множество позиций, $n\geq 0$, $E=\{e_1,e_2,...,e_m\}$ - конечное множество переходов, $m\geq 0$, S $E=\varphi$, p: $E\to S$ - является входной функцией — отображением из переходов в позиции, $\omega: E\to S$ - выходная функция — отображение из переходов в позиции. Функционирование сети Петри формально описывается с помощью множества последовательностей срабатываний и множества допустимых в сети разметок. Разметки в сети F - это функция M: $S\to N$. Если позиции сети упорядочены $S=(S_1,...,S_n)$, то разметки сети, в том числе и начальные задаются как вектор чисел $M=(m_1,...,m_n)$ такой, что $\forall i$, $1\leq i\leq n$, $m_i=M(S_i)$.

Отождествление переходов с выполнением информационных, организационно-технических или технологических процессов в объекте делает представимыми указанные процессы в классе сетей Петри со свободным выбором. Рассматривает пример моделирования



S_3 -горячий резерв, S_4 - работа под нагрузкой, S_6 - аварийный режим нагруженный, S_7 -аварийный режим ненагруженный, S_{11} - предаварийный №1, S_{13} - включение нагрузки, S_{14} - неисправность силовой уствновки, S_{15} - аварийное отключение нагрузки, S_{20} - неисправность в нагрузке, S_{21} - нагрузка в норме, S_{23} - утечка в кабеле, S_{24} - замена кабеля.

Рис. 3. Пример моделирования работы автономной энергетической системы

функционирования автономной энергетической установки рис. 3.

Предлагаемый подход позволяет развитие в направлении, связанном с раскрытием неопределенностей, возникающих при анализе и управлении рисками. Определение дополнительных требований к сетям можно сделать из рассмотрения задачи диагностики на сетях Петри (СП), которая формализуется следующим образом: "По значениям контролируемых параметров (ключевых индикаторов) V в каждый момент времени $\tau = \overline{0,t}$ необходимо распознать ситуацию q или локальные ситуации $u_i \le q$, соответствующие данному набору значений параметров V". Авторами работы [7] предлагается алгоритм поиска искомых цепочек последовательности ситуаций рисков.

IV. Прогнозирование времени нахождения ТС в текущем состоянии с использованием временных рядов, которые можно назвать предысторией, обладает хорошими прогностическими свойствами при двух основных условиях:

а) прогнозная модель является адекватной по некоторому критерию относительно исходных экспериментальных данных;

б) тенденции в будущем соответствуют тенденциям в предыстории.

Если эти условия выполняются, то, как правило, используются экстраполяционные модели на основе регрессивных функций

$$y(t) = \psi(t,\alpha,\beta,\ldots) + \varepsilon(t), \qquad (14)$$

где $\psi(t,\alpha,\beta,\ldots)$ - выбранная функция с неизвестными параметрами α,β , ...; $\varepsilon(t)$ - нормальный стационарный процесс с нулевым средним, описывающий помеху; $\varepsilon(t) \to N(0,\sigma^2)$, то есть она нормально и имеет однородную дисперсию во времени. Имея временные ряды $(t_i, y_i, i = \overline{1,\ldots,M}$, где M- число измерений), по методу наименьших квадратов можно оценить коэффициенты регрессии

$$\tilde{y}(t) = \psi(t,a,b,\ldots). \qquad (15)$$

В работах [9],[10] рассматривается полиномиальная функция вида

$$\tilde{y}(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \ldots + a_R t^R, \qquad (16)$$

где R - степень полинома, $a_0, a_1, \ldots, a_n$ - параметры функции.

Выбор модели (16) определяется несколькими причинами:

1. анализ программных средств, содержащих прогнозирование реальных показателей,

показывает, что на практике используются самые простые модели, часто уравнения прямой или параболы;

2. мониторинг безопасности ТС находится еще в начальной стадии и не имеется опыта накопления длинных временных рядов;

3. модель, высокие апроксимационные свойства которой получены за счет увеличения её сложности, зачастую имеет неудовлетворительные экстраполяционные свойства.

Ожидаемое остаточное время определяется по формуле

$$t_0 = t_k - t_M, \qquad (17)$$

где t_M - время последнего контроля, t_k - корень уравнения, $\tilde{y}(t) = x_n$, в котором x_n - предельное значение текущего параметра состояния ТС.

Гарантированное остаточное время может быть найдено из:

$$t_2 = t_{np} - t_M, \qquad (18)$$

где t_{np} определяется из уравнения

$$y(t) + t(mS, y) \cdot S \cdot \sqrt{T_t^T (T^T T)^{-1} T}_i = x_n. \qquad (19)$$

Здесь $\tilde{y}(t)$ - расчетное значение показателя в момент времени t; $t(mS, \gamma)$ -- квантиль t-распределения при степенях свободы и доверительной вероятности γ; S - оценка среднеквадратичного значения ошибки; T - матрица $(M \times P)$ значений параметров безопасности; $p = R + 1$ - число коэффициентов в модели, T_t - строка матрицы значений параметров безопасности, в которой вычисляется прогнозное значение показателя; T_t^T - операция транспонирования.

Межконтрольный интервал определяется из выражения

$$t_u = h \cdot t_\Gamma, \qquad (20)$$

где коэффициент $h = 1$, если прогнозная модель адекватна, и $0 < h < 1$, если модель не адекватна, t_Γ - гарантированное остаточное время (16).

Показатель (17) оценивает среднее время нахождения ТС в текущем состоянии; показатель (18) отражает минимальное время нахождения ТС в текущем состоянии; показатель (20) определяет необходимый интервал контроля параметра безопасности, по которому ведется оценка времени нахождения ТС в текущем состоянии.

В работе [10] представлена методика определения остаточного времени, на основе оценки трех показателей: а) ожидаемого остаточного времени; б) гарантированного остаточного времени; в) межконтрольного интервала. Предлагается два метода оценки параметров:

- прогнозирование по однородной информации, когда используется только информация временных рядов по параметрам безопасности;

- прогнозирование по разнородной информации, когда помимо временных рядов используется информация экспертов о поведении ТС в будущем.

В мониторинге часты случаи, когда сведения о значениях показателя в прошлом ограничены, особенно в период начального накопления данных. В связи с этим предлагается новый подход [10] для прогнозирования остаточного времени, когда помимо статистической информации дополнительно используются экспертные суждения, а также сделана постановка задачи оценки показателей остаточного времени по разнородной информации. Для оценки коэффициентов выбора наиболее адекватной модели использован метод линейного программирования, что заключается в решении для каждой задачи критерия соответствия статистическим данным при ограничениях, полученных из экспертных суждений.

Дальнейшее развитие предлагаемых подходов предполагает переход к логико-динамическим моделям. В таких моделях могут быть отражены знания экспертов об идентификации объектов управления, их свойствах, динамических характеристиках — управляемости и реакции на различные нарушения и дестабилизирующие факторы. В самом общем виде сам объект управления D может быть представлен совокупностью всех правильных комбинаций его компонентов — входов x и выходов y :

$$D \subset x \times y. \qquad (21)$$

Входы объекта x - воздействия на объект, управляющие и дестабилизирующие, а выходы y - это значения контролируемых параметров, значения ключевых показателей, которые выявляются и выбираются на стадии идентификации. При таком подходе моделью объекта будет преобразование F, связывающее входы x с выходами y.

$$F: x \to y. \qquad (22)$$

Известно, что для каждого процесса системы D типа (21) существует множество гло-

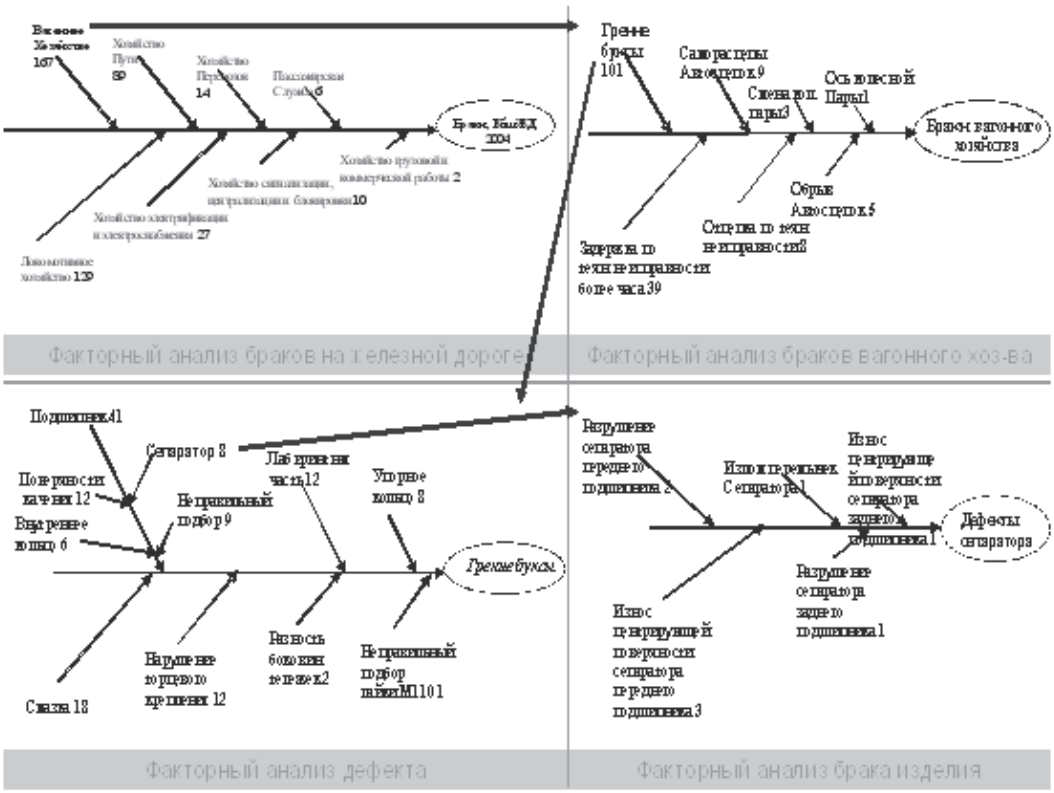


Рис. 4. Диаграмма Исикавы по иерархии факторного анализа отказов.

бальных реакций системы $p: Q \times x \to y$ таких, что

$$(x, y) \in D \leftrightarrow (\exists q)\left[p(q, x) = y\right].$$

Для изучения поведения объекта D во времени можно предложить введение ввести понятия линейно-упорядоченного отношения $\leq$ множества моментов времени τ. Динамическая модель объекта в этом случае будет определяться динамической парой $(\overline{p}, \overline{\varphi})$, где $\overline{p}$ является множеством всех реакций, объединенных в семейство реакций объекта, а $\overline{\varphi}$ представляет собой семейство функций переходов. Для нахождения условий существования функций p и φ необходимо провести анализ динамики процессов, протекающих в объекте управления при оказании транспортных услуг.

Для качественной идентификации объектов транспортной системы могут быть использованы лингвистические переменные L, задаваемые как нечетные множества в пространстве параметров $V = \{V_1, ..., V_n\}$. Соответствие вектора значений лингвистических переменных L_j состояниям объекта устанавливается с помощью дедуктивной схемы вывода

$$\frac{\{L_1 \wedge L_2 ...\} \mid \Rightarrow Q}{kQ}, \qquad (23)$$

которая означает, что если имеют место соответствующие значения переменных $L_1, L_2, ..., L_n$, то с уверенностью k имеет место состояние Q. На рис. 4. приведена совокупность причин отказов Y_0, обусловленных внутренними причинами.

Таким образом, под системой управления рисками авторами статьи подразумевается комплекс систематических постоянных мер, направленных на выявление рисков в деятельности соответствующей структуры и управление ими при помощи установленных методик, технологий и процедур.

Структурированное понятие безопасности основывается на комплексных представлениях, соответствующих проблемах железной дороги на региональном уровне. При этом надёжность и безопасность рассматриваются как важнейшие атрибуты качества перевозочного процесса, а безопасность достигается и обеспечивается созданием определённых организационно-технических мероприя-

тий, в основе которых лежат отраслевые стандарты безопасности.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Узунов, В. Г. Классификация проблем анализа и синтеза систем безопасности в работе транспортных коридоров / Узунов В.Г., Каштанов Ю.Б. //Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте: материалы всероссийской научной конференции с международным участием 19-21 мая 2005 г. - Красноярск. 2005. - С. 605-609.
2. Каштанов, Ю. Б. Современные технологии создания экспертных систем ситуационных центров для повышения надежности и безопасности сложных объектов /Каштанов Ю.Б., Белов И., Беляев А.А., Узунов В.Г. // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование — вып. №3 (15): ИрГУПС, Иркутск, 2007. С. 104-109
3. Елисеев, С.В. Методологические основы разработки организационно-технического обеспечения системы безопасности сложных технических объектов / Елисеев С.В., Каштанов Ю.Б., Узунов В.Г.; ИрГУПС. - Иркутск, 2008. -128 с.: илл. 64. - Библ. 42 назв.. Рукоп. депонир. ВИНИТИ, 17.04.08, №328 в 2008 г.
4. Узунов, В.Г. Некоторые задачи построения моделей для системы управления рисками / Узунов В.Г., Елисеев С.В. // Актуальные проблемы права, экономики и управления: материалы Международной научно-практической конференции, СИПЭУ. Иркутск. 2008. С. 212-215.
5. Елисеев, С.В. методология оценки и прогнозирования безопасности состояния сложных технических систем / Елисеев С.В., Каргапольцев С.К., каштанов Ю.Б., Дьяченко А.А., Быкова Н.М.// Современные технологии. Системный анализ. Моделирование — вып. №3 (15): ИрГУПС, Иркутск, 2007. С. 96-100.
6. Елисеев, С.В. Обеспечение безопасности сложных технических систем (технологические подходы) // Елисеев С.В., Каштанов Ю.Б., Узунов В.Г. ; ИрГУПС. - Иркутск, 2008 г. -150 с.; илл. 20. -Библ. 24 назв.. Рукоп. депонир. ВВНИТИ, 17.04.08, №329 в 2008 г. (Опубликовано. «Депонированные научные работы №6. 2008 г.)
7. Узунов, В.Г. Надежность транспортных систем, как показатель качественного состояния элемента системы / Узунов В.Г., Каштанов Ю.Б. // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование — вып. №3 (11): ИрГУПС, Иркутск, 2006. С. 171-177.
8. Узунов, В.Г. Управление безопасностью технических систем. Организационные аспекты / Узунов В.Г.// Актуальные проблемы права, экономики и управления: материалы Международной научно-практической конференции, СИПЭУ. Иркутск . 2008. С. 217-220.
9. Узунов, В.Г. Прогнозный подход в оценке нахождения технических систем в текущем состоянии / Узунов В.Г., Дьяченко А.А., Спорыхин М.А., Белов И.А. // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование — вып. №3 (19): ИрГУПС, Иркутск, 2008. С. 110-118.
10. Узунов, В.Г. Математическое обеспечение мониторинга состояния транспортной системы и её объектов на основе вероятностного подхода/ Дьяченко А.А., Спорыхин М.А., Белов И.А.// Современные технологии. Системный анализ. Моделирование — спецвыпуск: ИрГУПС, Иркутск, 2008. С. 74-82.

Истаева А.А.

УДК 330.147

ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ

В настоящее время в Казахстане проводятся структурные реформы по обеспечению эффективного функционирования транспортного комплекса в условиях развития конкуренции, на основе нормативно-законодательной базы. Определяющими правовыми и организационными ориентирами деятельности транспорта являются Законы Республики Казахстан «О транспорте», «О железнодорожном транспорте», «Об автомобильном транспорте», «Об автомобильных дорогах», «О безопасности дорожного движения», «О торговом мореплавании», «О внутреннем водном транспорте», «О государственном регулировании гражданской авиации» и Указ Президента Республики Казахстан, имеющий силу Закона, «Об использовании воздушного пространства и деятельности авиации Республики Казахстан».

Структура организационно-правовых форм и количество транспортных предприятий по всем секторам транспортно-коммуникационного комплекса Республики Казахстан подвержена постоянным изменениям. Это свидетельствует о процессе формирования оптимального транспортного рынка, регуляторами которого выступают принципы конкуренции и реальный спрос на перевозочные услуги.

В силу исторических, географических и демографических особенностей в Казахстане сложилось ограниченное количество магистральных направлений, по которым осуществляются транспортные связи страны с внешним миром. Тем не менее, продвижение в этом направлении проводится с учетом следующих факторов:

- трансконтинентальный транзитный коридор представляет собой целостную систему, состоящую из транспортной инфраструктуры, а также правовых и технологических норм регулирования;

- формирование потенциального транзитного коридора в значительной степени обусловлено политическим выбором каждого государства, по территории которого такой коридор может пролегать; в формировании трансконтинентальных коридоров вовлечены интересы государств сопредельных и конкурирующих с Казахстаном за привлечение транзитного грузопотока.

Основная доля сети наземных путей сообщения в республике приходится на автомобильные и железные дороги (соответственно 88,4 и 14,0 тыс. км). Протяженность эксплуатируемых водных путей составляет 3,9 тыс. км, воздушных трасс - 61 тыс. км. Плотность транспортной сети на 1000 кв. км территории составляет: 5,1 км железных дорог, 32,4 км автомобильных дорог с твердым покрытием, 1,5 км внутренних водных путей. Особое место в системе транспортно-коммуникационного комплекса страны занимают два узла, расположенные на международных транспортных коридорах, - это железнодорожный переход «Дружба» на востоке и морской торговый порт Актау на западе страны.

В транспортной системе республики в основном преобладает железнодорожный транспорт. При перевозки грузов на дальние расстояния этот вид транспорта наиболее эффективен, характеризуется высокой провозной способностью при сравнительно невысокой стоимости. Основными видами грузов для железных дорог является каменный уголь (38,2% от общего объема), нефтяные грузы (11,5%), железная и марганцевая руда (10,4%). Из года в год объемы перевозок практически всех видов грузов увеличиваются: цветной руды и серного сырья — на 1806 тыс. тонн (на 13,6%), нефтяных грузов - на 1304 тыс. тонн (на 5,4%), строительных грузов - на 562 тыс. тонн (на 3,2%), лесных грузов - на 363 тыс. тонн (на 15,9%). Также увеличиваются объемы перевозки грузов в контейнерах, которые возрос на

133 тыс. тонн (на 11,0%). Значительный рост объемов всех перевозок, в том числе, связанных с экспортом угля, нефтеналивных грузов, металлопродукции, продукции химической и нефтехимической промышленности, других грузов, сдерживается недостаточной пропускной способностью.

Основным механизмом регулирования рыночных отношений является конкуренция. В классическом понимании конкуренция трактуется как соревнование экономических агентов на рынке за предпочтение потребителей в целях получения наибольшего денежного дохода. Конкуренция позволяет более рационально распределить ресурсы, минимизировать затраты на единицу продукции и услуг, обеспечить их высокое качество и больший ассортимент, тем самым максимизировать потребности на основе получаемых доходов. Конкуренция, существовавшая между различными видами транспорта при административно-командной системе, не могла привести к разорению какого-либо вида транспорта, поскольку все они финансировались из государственного бюджета, а тарифы устанавливались сверху. В итоге конкуренция носила символический характер. В условиях рыночной экономики конкуренция приобретает качественно новые черты, поскольку теперь все виды транспорта развиваются за счет собственных источников финансирования. Конкуренция между различными видами транспорта является внутриотраслевой, несмотря на то, что каждый вид транспорта формально существует как самостоятельная отрасль, имеющая свое ведомство. Однако такое административное деление не меняет сущности внутриотраслевой конкуренции, поскольку весь транспорт занят одним видом деятельности - перемещением. Внутриотраслевая конкуренция на транспорте - это конкуренция за клиентуру, высокие доходы, новые более эффективные технологии, высокое качество перевозок, надежность и быстроту перемещения, как грузов, так и пассажиров. В соответствии с результатами конкуренции, размерами получаемого дохода на вложенный капитал перераспределяются ресурсы между различными видами транспорта, а значит, что между ними есть элементы и межотраслевой конкуренции. Между различными видами транспорта происходит не только ценовая, но и неценовая конкуренция. Если первая идет вокруг тарифов, то вторая связана со скоростью, надежностью, комфортностью перемещения.

Разные виды транспорта конкурируют между собой на рынке грузовых и пассажирских перевозок, в частности, железнодорожный и трубопроводный транспорта — за транспортировку нефти и нефтепродуктов, железнодорожный и авиационный за пассажирские перевозки, железнодорожный и автомобильный — практически за всю номенклатуру грузов. Насыпные грузы, объемные поставки ТНП - являются более предпочтительными для доставки по железной дороге у большинства грузоотправителей.

Наличие конкуренции между различными транспортными компаниями в условиях рыночной экономики не является помехой в развитии и функционировании транспортной системы. Конкуренция проявляется по отдельным направлениям при осуществлении перевозок и является важным фактором улучшения обслуживания клиентов на транспорте. С экономической точки зрения повышение конкурентоспособности транспортной компании сводится к реализации эффекта повышения качества транспортного обслуживания при минимальных расходах.

Цель развития транспортного комплекса заключается в эффективной доставке отечественных экспортных товаров на внешний рынок и оказании широкого набора транспортных услуг их пользователям. Приоритетными направлениями развития отрасли являются создание эффективного и технологически обновленного транспортного комплекса, реализация транзитного потенциала.

Показатели функционирования железнодорожного транспорта в инфраструктуре позволяют сделать вывод, что транспортная система имеет объективные возможности для стабилизации своего финансового состояния и обеспечения устойчивого уровня развития. Для решения этих задач необходима продуманная система стимулирования инновационных процессов, использования акционерного капитала, включая иностранные инвестиции, обеспечение конкурентоспособности транспортных технологий на мировом и внутреннем рынке с целью освоения новых сегментов спроса на транспортные услуги.

Через территорию Казахстана проходят 6 железнодорожных, 6 автомобильных и 72 воздушных коридора. Страну пересекает Транс-азиатско-европейская волоконно-опти-

ческая линия связи, берущая начало у берегов Тихого океана и уходящая в глубь Европы. С юга на север цифровая магистраль уже соединила ее с Транссибирской оптической линией.

Для реализации долгосрочных целей развития железнодорожного транспорта, обеспечения синхронизации его развития, повышения конкурентоспособности в республике разработана Транспортная стратегия Казахстана до 2015 года. Целью, которой является создание современной высокотехнологичной транспортной системы на уровне развитых стран, обеспечивающей максимальное содействие экономическому росту и повышению благосостояния граждан.

В соответствии с механизмами реализации республиканской стратегии в сфере железнодорожного транспорта планируется, касательно развития магистральной железнодорожной сети:

• приведение технического состояния объектов инфраструктуры, входящих в сеть международных железнодорожных коридоров в соответствие с международными стандартами;

• электрификация и реабилитация грузонапряженных железнодорожных участков;

• развитие комплекса связи и коммуникаций, создание оптоволоконной сети передачи данных, компьютеризация большинства центров управления предприятиями, переход на электронную форму ведения учета и документооборота;

• строительство высокоскоростных железнодорожных магистралей и организация скоростных пассажирских поездов на приоритетных направлениях;

• интеграция отечественных операторов в мировой транспортный рынок;

• совершенствование систем управления перевозками, информатизация и автоматизация процессов и т.п.

Реализация мероприятий предусмотренных стратегией позволит в дальнейшем обеспечить устойчивое развитие отрасли с постепенной заменой и модернизацией элементов инфраструктуры в соответствии с современными требованиями. Планируется, что к началу третьего этапа реализации Транспортной стратегии пропускная способность железнодорожного транспорта и эффективность его деятельности будут в полной мере соответствовать потребностям экономики. Развитие национальной железнодорожной сети позволит приблизить ее к мировым стандартам и достичь высокого уровня конкурентоспособности через улучшение качества управления, на основе освоения крупных инвестиционных проектов [1].

Развитие транспортной инфраструктуры в стратегии предусматривает инвестиционные программы по расширению сети транспортных коммуникаций, формированию транзитного потенциала, интеграции в международную транспортную систему, организацию транспортных связей промышленно развитых северных регионов с западом и югом страны и далее, к новым потенциальным рынкам сбыта продукции. Эти мероприятия позволят сократить срок доставки грузов, снизить стоимость перевозок, сократить перевозки с выходом на территорию России, расширить рынки сбыта отечественной продукции.

Для внедрения в мировую транспортную систему там, где имеется только национальный интерес, нужно полагаться исключительно на внутренние источники инвестиций. В силу очевидной их ограниченности необходим поэтапный подход к реализации различных дорожных проектов. Еще на стадии бизнес-планов или технико-экономических обоснований они должны ранжироваться на основании социально-экономических и политических прогнозов, объективных оценок возможных грузопотоков. Там, где возникают интересы двух или нескольких государств, следует совместно искать пути паритетного решения проблем. И, наконец, там, где присутствуют интересы глобального масштаба, необходимо максимально прибегать к политической и финансовой поддержке международных организаций и заинтересованных транснациональных компаний.

План мероприятий по реализации структурной реформы на железнодорожном транспорте предусматривает определение целевой модели рынка транспортных услуг с учетом новых реалий. В перевозках железнодорожным транспортом согласно Программе реструктуризации железнодорожного комплекса он не будет являться монополистом, так как в дальнейшем в целях развития конкуренции образуется рынок перевозчиков.

Транспортный рынок функционирует как единый рынок всех видов транспорта внутри страны, но где каждый вид транспорта предлагает свои услуги. Оценка рыночных ситуаций на отечественном транспортном рынке, разли-

чия между их характерными чертами, факторами, определяющими формирование спроса и предложения на перевозки, позволила представить собственную трактовку понятия «рынок транспортных услуг», где спрос на рынке действует как платежеспособный спрос различных субъектов экономики: отдельных граждан, предприятий, учреждений и государства. Предложение же представлено производственным потенциалом всех видов транспорта. Соотношение спроса двух этих категорий определяет динамику тарифов на транспортную продукцию. Рынок транспортных услуг — это совокупность социально-экономических отношений в сфере обмена и функционирования перевозочного процесса, включающего непосредственное перемещение грузов, пассажиров и комплекс сопутствующих услуг, оказываемых потребителям, и представленного совокупностью всех видов транспорта, функционирующих как единое целое.

Итак, транспортный рынок представляет собой систему тесно взаимодействующих основных элементов - спроса, предложения, конкуренции и цены. Транспортный рынок эффективно функционирует, когда соблюдаются следующие главные условия:

- наличие конкурентной среды в перевозочной деятельности;

- возможность свободного выбора потребителей;

- одинаковые правила взаимодействия для субъектов транспортного рынка.

Вместе с тем, по сравнению с рынками прочих товаров и услуг, транспортный рынок имеет ряд особенностей:

- транспортная услуга служит необходимым условием общественного производства;

- специфика транспортного рынка определяется свойством самой транспортной услуги — ее нематериальным характером;

- транспортный рынок является, как правило, олигополией, где число участников рынка относительно невелико.

Для железнодорожного транспорта проблема дальнейшего обеспечения эффективной деятельности, стратегической конкурентоспособности является многоплановой, процессы глобализации не оставляют в стороне Казахстан с его огромными просторами, по которым должны осуществляться качественные и прибыльные железнодорожные перевозки. В первую очередь, железнодорожный транспорт активно участвует в конкуренции между различными видами транспорта за грузоперевозки. Кроме того, в условиях колебания спроса на перевозки, в разных звеньях железнодорожной сети ведется острая конкуренция за грузы. В перспективе конкуренция возможна и между грузовыми станциями, если планируемые грузопотоки будут перераспределяться между этими станциями в зависимости от уровня издержек (себестоимость грузопереработки). В этом случае, не все грузовые станции окажутся конкурентоспособными с позиций участия в логистической цепи железнодорожных перевозок, обеспечивающих высокое качество при оптимальных затратах.

Таким образом, насущной необходимостью эффективного функционирования современной отечественной экономики является формирование конкурентного рынка, повышение конкурентоспособности перевозок, как в организационном, так и в технологическом аспекте, которое невозможно без коренной переориентации экономической и инвестиционной политики на железнодорожном транспорте, стимулирования инноваций, обеспечивающих коммерческий успех и укрепление его позиций на транспортном рынке.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Шелюбская, И. Новые направления инновационной политики КС [Текст] / И. Шелюбская // Пробл. теории и практики управления. — 2003. — № 4. — С. 63—68.

Воробьева В.В., Малов В.Ю.,
Мелентьев Б.В., Позамантир Э.И.

УДК 504:621; 6.(33)

ТРАНСПОРТНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА АЗИАТСКОЙ РОССИИ: ПОДХОД К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

1. Предпосылки к использованию транспортно-экономических балансов при прогнозировании.

Достижение устойчивых темпов роста ВВП России, обеспечивающих необходимую для реализации приоритетных национальных проектов материально-вещественную базу, требует усиления интегрированности экономик регионов страны и упрочнения ее места в системе международного разделения труда. В этой связи трудно переоценить роль транспортного комплекса, осуществляющего как внутрироссийские перевозки, так и реализацию экспортно-импортных операций. Поэтому в качестве важнейшей компоненты инструмента прогнозирования территориального разделения труда предлагается использовать транспортно-экономические балансы. Преимущество разработки их с позиций учета при прогнозировании времени, пространства и структурных характеристик экономики заключается в том, что они обеспечивают соблюдение:

* пропорциональности темпов роста экономики и развития транспортного комплекса;

* сбалансированности потребностей в услугах транспорта с возможностями отдельных важнейших участков транспортной сети, портовых сооружений и других точечных и линейных элементов транспортной системы как отдельного региона, так и страны в целом;

* согласованности работы разных видов транспорта в каждом из регионов.

Нельзя утверждать, что транспортно-экономические балансы явились абсолютно новым «атрибутом» становления рыночной экономики в России. По своей природе и общему содержанию это те же классические межотраслевые межрегиональные балансы, описывающие связи в народнохозяйственном комплексе. Сохраняется тот же принцип определения их конкретной географии и количественных оценок - исходя из требования равенства спроса и предложения продукции и услуг. Однако в новых экономических условиях России и с изменением ее геополитического положения изменился и характер участия транспорта в формировании этих связей. Это проявляется в следующем.

Виды транспорта выступают теперь самостоятельными субъектами рынка соответствующих услуг. В пределах конкретных регионов между видами транспорта усиливается конкуренция за привлечение потребителей услуг, в том числе и из-за пределов своей территории. Прибыль транспортных организаций становится важным показателем для оценки не только результатов своей работы, но и инвестиционной привлекательности. Новое транспортное строительство может инициировать не только государство, но и частный капитал. Магистральные транспортные коридоры России становятся привлекательными для осуществления межстрановых грузоперевозок. Заинтересованность в реализации крупных российских транспортных проектов проявляют и иностранные инвесторы.

В этих условиях разработка транспортно-экономических балансов является одним из наиболее действенных и объективных инструментов выявления согласованных вариантов развития национальной экономики и социально-экономического развития регионов страны. При этом прогнозируемая потребность в транспортных услугах будет соответствовать минимально-необходимому уровню развития транспортного комплекса для достижения намечаемых темпов роста ВВП и, как следствие, для решения неотложных задач в рамках реализации приоритетных нацио-

нальных проектов. Другими словами, транспорт будет работать не «ради транспорта», а выполнять необходимые перевозки «ради реализации целевых установок».

Актуальность разработки транспортно-экономических балансов обусловливается объективной необходимостью смены парадигмы принятия решений по развитию транспорта в рыночных условиях хозяйствования. В прежних условиях при жестко централизованном управлении формированием межотраслевых и межрегиональных связей и ведомственном распределении общегосударственных ограниченных ресурсов (в том числе и в разрезе видов транспорта) действовал принцип «примата» материального производства. Суть его заключалась в том, что только при «наборе» достаточного объема грузопотока со стороны прогнозируемых в пределах какого-то региона предприятий намечался комплекс мероприятий по усилению транспортного обеспечения этой территории. Сегодня количественные оценки прогнозируемого соотношения «спрос - предложение» транспортных услуг должны определяться не только в соответствии с ограничениями на возможности развития транспорта, но и в зависимости от интереса и вклада самих потребителей услуг в расширение этих возможностей. Крайне низкий уровень транспортной обеспеченности многих регионов страны является сегодня серьезным сдерживающим фактором не только для выхода каждого из них на путь максимально возможного «самообеспечения» своего развития, но и для постепенного перевода индустриально-сырьевого типа экономики России в целом на инновационный путь развития.

Анализ сложившейся ситуации по осуществлению внутренних и внешних транспортно-экономических связей страны и материалов разработанной Минтрансом РФ «Транспортной стратегии России» показывает, что задачи развития этой отрасли различаются по регионам. Один из выводов, обобщающих этот аспект анализа, может быть сформулирован следующим образом. Если для совокупности регионов европейской части страны актуально совершенствование конфигурации и технического и технологического оснащения транспортной сети, то для регионов азиатской части России первостепенной является задача создания опорной транспортной сети, отвечающей требованиям XXI века. При решении её необходимо обеспечить прямой учет двойственного характера влияния транспорта на качественные и количественные характеристики динамики экономического развития и страны, и её регионов: а) способствовать формированию эффективных направлений сдвигов в отраслевой и пространственной структуре хозяйственного комплекса; и б) совершенствовать и развивать на рыночной основе свою внутреннюю структуру в соответствии и с этими сдвигами, и с задачами по усилению роли России в мировой транспортной системе. Одновременный учет такой схемы «взаимовлияния» в прогнозных расчетах транспортно-экономических балансов возможен на базе расчетов с применением экономико-математического инструментария. При его разработке авторы исходили из следующих основных направлений использования конечных результатов расчетов:

> повысить надежность прогноза за счет более детального рассмотрения возможностей транспортного комплекса и разнообразия потребителей его услуг (учета в явном виде взаимозаменяемости и комбинирования разных видов транспорта, формирования разных схем реализации транспортно-экономических связей);

> проанализировать «самодостаточность» и наметить пути развития транспортного комплекса отдельного субъекта Федерации в соответствии с поставленными задачами не только собственного социально-экономического развития, но и страны в целом;

> выявить транспортные проекты стратегически важные как для страны в целом, так и для конкретных макрорегионов (например, для азиатской части страны; федеральных округов и т.д.);

> повысить надежность реализации общеэкономических прогнозов за счет сбалансированного развития всех видов и элементов транспорта и, в значительной степени, за счёт упреждающего снижения риска возникновения узких мест в его работе;

> обеспечить непрерывность и преемственность во времени «мониторинга» процесса реализации выбранной стратегии развития при изменении внешних и внутренних условий.

2. Основные задачи и структура инструментария разработки транспортно-экономических балансов.

В качестве ключевых исходных посылок разработки транспортно-экономических балансов приняты следующие общеэкономические требования:

* приоритетное выполнение социально-экономических задач развития страны в целом и отдельных ее регионов;

* комплексное развитие транспортной системы России, позволяющее ей не только выполнять «запросы» хозяйствующих субъектов и населения регионов, но и занять достойное место в мировой транспортной системе;

* восстановление и усиление геоэкономических и геополитических позиций России как в международном разделении труда, так и на мировом экономическом пространстве.

Детализация прогнозных показателей работы транспорта и возможность осуществления последующего мониторинга их обеспечивается многоуровневой системой экономико-математических моделей. В основу её положен принцип иерархического представления территории и связанного с этим взаимодействия как экономики и транспорта, так и разных видов транспорта.

Каждая из моделей в отношении транспорта ориентирована на решение определенного круга задач (табл. 1). Особенность практического применения их как целостной системы заключается в том, что модели разных уровней работают в режиме разных количественных измерителей показателей спроса и предложения транспортных услуг, а именно, в стоимостном или натурально-вещественном выражении.

Переход от стоимостных показателей работы транспорта к натурально-вещественным обеспечивается поэтапными расчетами, выполняемыми в соответствии с заданной логической схемой взаимосвязей моделей (рис.1). Конечный результат расчетов на первых трех этапах - региональный разрез структурных характеристик перспективных транспортно-экономических балансов. Четвертый этап предполагает использование специальных моделей прогнозирования развития транспортно-технологических систем, обеспечиваю-

Таблица 1

Основные задачи и инструментарий разработки прогноза

Территориальные уровни взаимодействия транспорта и экономики	Задачи. Инструментарий. Измерители спроса и предложения транспортных услуг.
Макроуровень: страна в целом	Задача. Определение сбалансированного варианта развития отраслей экономики и транспорта в разрезе федеральных округов. Инструментарий. Межотраслевая межрегиональная модель. Демографические модели. Измерители - стоимостные.
Мезоуровень: федеральные округа	Задачи. Определение показателей развития отдельных отраслей транспортной системы в разрезе федеральных округов. Инструментарий. Модели развития отраслевых (межотраслевых) комплексов. Эконометрические модели отраслей. Измерители - стоимостные и натурально вещественные.
Региональный уровень: территории, тяготеющие к участкам транспортных коридоров	Задачи. Определение показателей развития магистральных участков опорной транспортной сети. Инструментарий. Имитационные модели формирования опорной транспортной сети страны в разрезе регионов и интегрированных производственно-транспортных зон. Поведенческие модели (сети Петри). Аппарат размытых множеств. Измерители - натурально-вещественные.

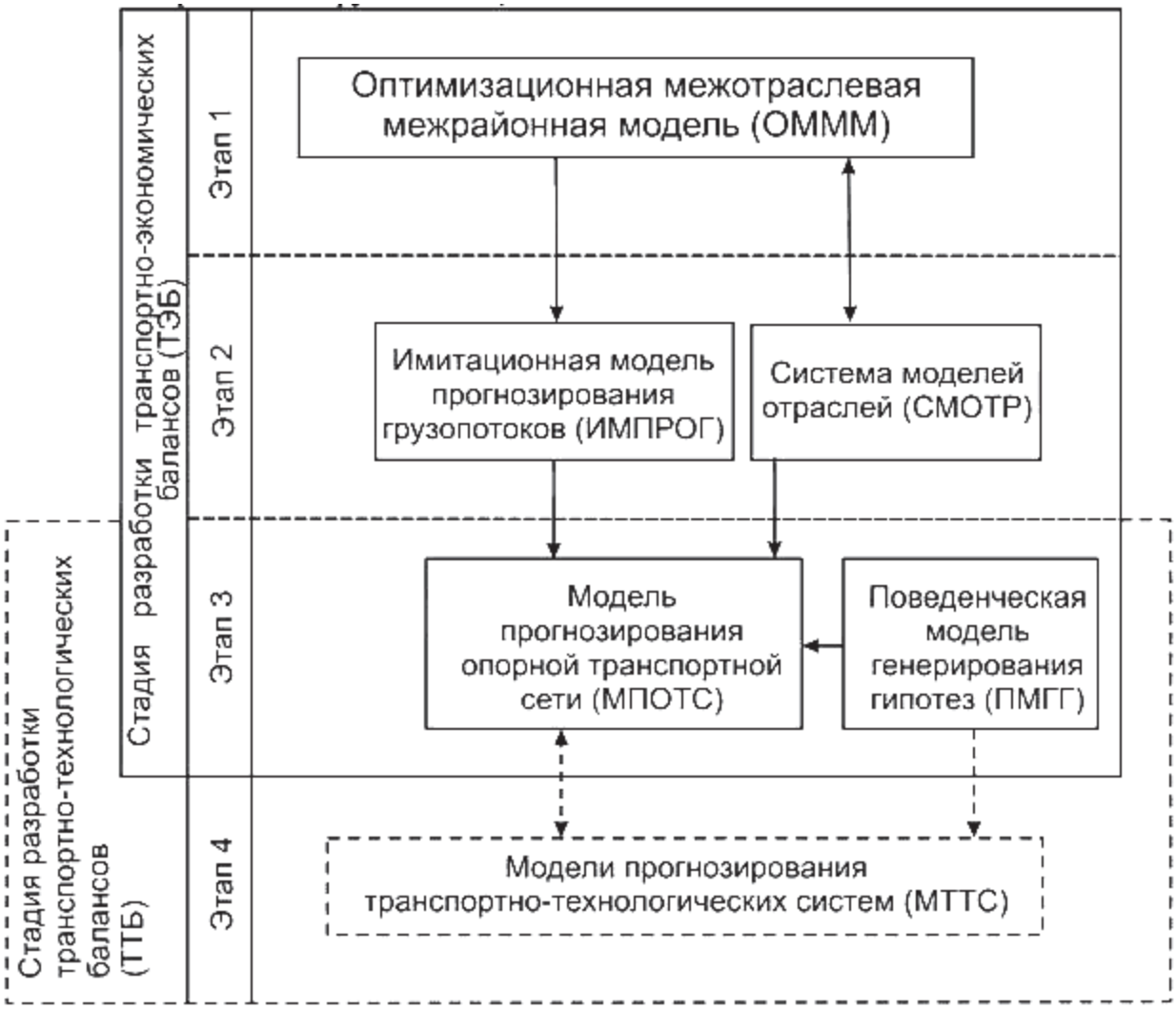


Рис. 1. Схема взаимосвязей моделей, используемых для разработки транспортно-экономических балансов

щих согласованный учет технологических, организационных и коммерческо-правовых условий перевозки грузов с минимальными издержками. Этот этап в предлагаемом комплексе моделей пока не отлажен до практического применения, хотя специализированные научно-проектные организации располагают опытом формализованного подхода к экономическому обоснованию развития отдельных элементов таких систем.

Системность расчетов по предлагаемому комплексу моделей: обеспечивается обменом следующими выходными информационными потоками.

ОМММ => СМОТР: темпы роста отраслей в регионах, отвечающие выполнению намечаемых на перспективу целей развития экономики России.

СМОТР => ОМММ: темпы роста отраслей в регионах, уточненные в модели «СМОТР» за счет детального учета видов и территориальной привязки производств, специфики требований их к транспортному комплексу.

ОМММ => ИМПРОГ: объем работы агрегированной отрасли «транспорт и связь», выполняемой в регионах.

ИМПРОГ => МПОТС: темпы роста и объемы отправления/получения груза и грузоо-

борота по отдельным регионам и видам транспорта.

СМОТР => МПОТС: задания на объемы ввоза и вывоза по регионам зарождения и поглощения грузопотоков, уточненные в модели «СМОТР» за счет детального учета видов и территориальной привязки производств, специфики требований их к разным видам транспорта.

ПМГГ => МПОТС: оценки возможных в перспективе нагрузок на транспортный комплекс России за счет международного транзита; оценки реализуемости предлагаемых вариантов развития опорной транспортной системы.

МПОТС => МТТС: прогнозируемые по крупным транспортным узлам регионов объемы отправления и получения грузов; требуемые мощности погрузо-разгрузочных и перевалочных комплексов по основным видам груза; объемы нагрузки на магистральные участки региональной транспортной системы; оценка участия отдельных видов транспорта региона в составе транспортных коридоров (с выделением ожидаемых транзитных грузопотоков).

МТТС => МПОТС: корректировка ограничений на магистральные участки транспорта и мощности погрузоразгрузочных и перегрузочных комплексов; оценка возможных интервалов изменения тарифов для отдельных видов транспорта и их комбинации по основным видам груза.

Дезагрегация согласованных показателей спроса и предложения транспортных услуг непосредственно в рамках передачи на нижестоящие уровни результатов расчетов по моделям не всегда может обеспечить чистоту перехода от одной формы измерителей их к другой. Для частичного разрешения этой, достаточно сложной проблемы, целесообразно дополнительно использовать известные методические приемы работы с экспертными оценками.

Результаты расчетов по моделям позволяют не только составить на перспективу транспортно-экономические балансы, но и на их базе подготовить обосновывающие материалы

- для заблаговременной подготовки регионов к возможным изменениям (в средне- и долгосрочной перспективе требований к региональным транспортным системам;

- для подготовки и обоснования предложений региональных органов власти об активизации участия и государственных, и региональных структур в процессе согласования интересов с производственными компаниями по развитию транспортного комплекса, формированию независимых выходов на мировые рынки продукции и сырья.

3. Пример использования транспортно-экономических балансов для решения задач по оценке крупных транспортных проектов.

Решение названных задач требует конкретного и более полного отражения их «географии». К таким проектам можно отнести строительство трубопровода «Восточная Сибирь - Тихий океан», или, например, непосредственную транспортно-экономическую связь Красноярского края и Северо-Западного ФО, которую можно осуществить только по морю. Для решения этих задач необходима одновременная детализация транспорта в его видовом и территориальном разрезах. Поэтому в отношении названных проектов в модели верхнего уровня (ОММ) региональный срез территории России должен быть представлен не только Федеральными округами, но и отдельными субъектами. Такой подход позволяет в рамках оценки исследуемого проекта учесть и взаимозаменяемость отдельных видов транспорта (например, автомобильного и железнодорожного, трубопроводного и морского).

Задачи прогнозирования развития транспорта на основе разработки транспортно-экономических балансов хорошо вписываются и в работы по оценке проектов внешней торговли, так как для транспортного комплекса они связаны с экспортом услуг. В качестве примера можно назвать следующие проекты: формирование и экспертиза транспортных коридоров типа Восток - Европа; оценка возможного возрастания нагрузки на железнодорожный транспорт за счет активизации международных контейнерных перевозок и т.п.

Ниже мы рассмотрим основные результаты решения только двух задач, связанных а) с интенсификацией международного транзита (отдельно авиационного и железнодорожного) и б) с интенсификацией развития железнодорожной сети Сибири и Дальнего Востока. В обеих задачах объектами исследования выступают хозяйственные комплексы 19 регионов, 38 отраслей, отрасль «Транспорт» рассматривается в разрезе 8 видов транспортных услуг[1]. В качестве базового года принят

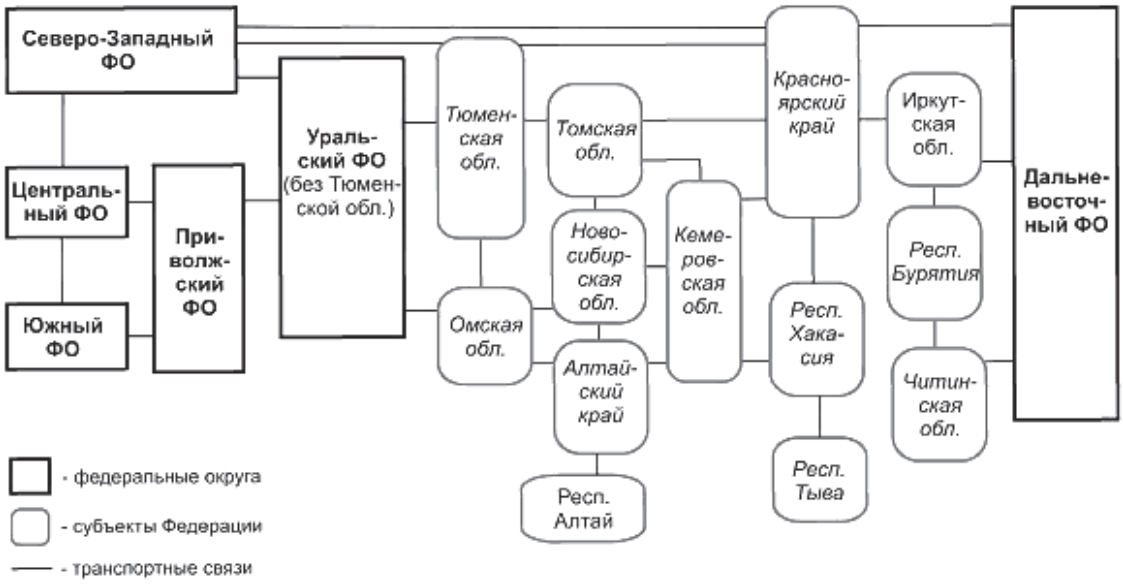


Рис. 2. Схема транспортных связей между смежными рагионами

2005 г., прогноз рассчитывается на 2015 г. Конфигурация межрегиональных связей отражена на рис. 2.

4. Оценка проектов создания международных транспортных коридоров для интенсификации международного транзита.

В качестве исходного принимался вариант, при котором а) реализовывалась стратегии минимального (не выше 4 % в год) развития железнодорожного транспорта по всем субъектам Сибирского ФО, за исключением Республик Тыва и Алтай, и б) отсутствовал значимый транзитный поток «Азия - Европа» по железным дорогам России. Данный вариант характеризуется достаточно низким темпом прироста валового выпуска - на уровне 4,9%. Конечный продукт оценивается в 25489 млрд. руб. (в ценах 2005г.).

При этом сибирские районы развиваются с темпом превышающим общероссийский на 0,5п.п. В целом сибирский транспорт превысил средний темп по стране на 4 п.п. и это превышение наблюдается по всем видам (в том числе по трубопроводному на 5,5 п.п., по автомобильному на 2,1 п.п.). Для страны в целом общий темп роста услуг транспорта ниже темпа роста валового выпуска, дополняя действия рассмотренных ранее негативных факторов, снижающих темпы роста экономики.

Одной из задач исследования являлось изыскание дополнительных возможностей роста услуг отдельных видов транспорта, превращения их в «точки роста» экономики. Среди них выбраны авиационный и железнодорожный. Для авиационного транспорта в качестве резерва роста принят дополнительный внешний заказ по обеспечению трансконтинентальных перелетов иностранных компаний над территорией России (Запад - Восток: Европа - Япония, Китай и Юго-Восточная Азия; Юг - Север: Юго-Восточная Азия, Северный полюс - Аляска). Этот дополнительный рынок услуг нами оценивается примерно в 2 млрд. руб.[2] По результатам расчетов, реализация данного экспортного заказа оказала положительное влияние на экономику, хотя и не очень заметное в масштабах страны. В абсолютных цифрах конечное потребление страны в сравнении с исходным вариантом выросло на 1,3 млрд. руб., валовой выпуск по стране - на 5,3 млрд. руб. Наибольший прирост продукции данная стратегия вызывает в Центральном, Уральском и Дальневосточном ФО. Тако-

[1] Виды транспорта: железнодорожный, трубопроводный, автомобильный, морской, речной, авиационный, погрузочно-разгрузочный, прочие. Экспертиза информации проведена Ю.С.Ершовым, Л.В.Мельниковой, программное обеспечение подготовлено В.С. Костиным и Н.М. Ибрагимовым.

[2] Только за пролет над нашей территорией и без учета «геополитических дивидендов».

го рода заказы, несмотря на незначительные показатели реакции экономики, являются вкладом в общую копилку народнохозяйственной эффективности. Во всех следующих вариантах расчетов авиационная составляющая международного транзита включена как обязательная.

Значительно более весомым по влиянию на экономику страны является рынок железнодорожных услуг. Поэтому мы предполагаем, что в перспективе до 2015 года будет полностью осуществлена реализация российской части международного проекта транспортного коридора Азиатско-Тихоокеанский район (АТР) - Западная Европа. В этом варианте была принята следующая посылка: общий спрос на экспорт железнодорожных транспортных, погрузо-разгрузочных и экспедиционных услуг задавался на уровне 230 млрд. руб. Как заказ на обслуживание перевозок международных контейнеров он распределялся по районам России пропорционально длине железнодорожного пути, проходящего по их территории. Аналогично были разнесены и затраты на модернизацию пути.

Сибирские и дальневосточные регионы «потеряли» своего производственного потенциала часть (0,5п.п. и 0,4п.п. от среднероссийского уровня, соответственно). Причина этого - ограниченность пропускных способностей железных дорог для внутрироссийских перевозок, т.к. обеспечение международного транзита считается приоритетной задачей. Такая целевая установка привела к адаптационному изменению географии перевозок и перераспределению транспортных услуг, особенно в Приволжском и Северо-Западном федеральных округах.

Данный лимитирующий фактор сохраняется в интервале от 4 до 6 процентов ежегодного роста для транспортного комплекса восточных районов. «Эффективный» порог транспортной инфраструктуры начинается с 6% прироста железнодорожного транспорта, причем каждый дополнительный п.п. прироста транспортных услуг при поддержке инвестициями обеспечивает от 60 до 100 млрд. руб. прироста конечной продукции страны. Подчеркнем, что не сам по себе международный транзит является негативным фактором интеграции регионов России, а неподготовленность отечественной транспортной сети к его приему.

Очевидно, что выполнение экспортного заказа должно сопровождаться компенсирующим импортом. В противном случае произойдет снижение конечного потребления, хотя и выполнение экспортного заказа приведет к общему росту производства. В нашем случае при включении программы перевозок международных грузов и компенсирующего импорта, произошло, тем не менее, снижение общероссийских показателей: конечное потребление составило только 24867 млрд. руб. (снизилось на 2,5%) при небольшом росте темпов валового выпуска страны - на 0,1 п.п. (табл. 2). По сравнению о средними тенденциями умеренно-оптимистического прогноза наиболее «пострадали» хозяйства восточных районов. Темп роста отраслей транспорта превышает темп роста валового выпуска, т.е. происходит рост транспортоемкости экономики страны.

Более интенсивное развитие железнодорожного транспорта определяет рост и других его видов. Особенно это показательно для автомобильного транспорта европейских регионов (от 1 до 3,5п.п дополнительного прироста по разным регионам страны). Прирост наблюдается и в трубопроводном транспорте (на 0,8-1,3п.п.).

Анализ проведенных расчетов показал и более сложные взаимозависимости состояния транспортной отрасли и межрегиональных потоков продукции. Так, при малых темпах прироста услуг железнодорожного транспорта (до 4%) наблюдается абсолютное сокращение межрегиональных перевозок, причем в первую очередь, по регионам, у которых имеется наиболее высокий дефицит трудовых ресурсов, например в Новосибирской и Кемеровской областях. Труд здесь рациональнее использовать в машиностроении, угольной и химической промышленности[3].

Доля рынка межрегиональных услуг по всем видам транспорта всё же возрастает, если предположить дальнейший рост железнодорожного транспорта в Сибири и Дальнем Востоке с темпом прироста больше 6% в год. Можно считать, что после этого «порога» будет возрастать и дальность межрегиональных перевозок. Выгодность дальних межрегиональных

[3] При предположении о возможности частичной взаимозаменяемости трудовых ресурсов по отраслям экономики.

Таблица 2

Показатели развития экономики России в 2015 г. при 4%-м приросте объема услуг железнодорожного транспорта Сибири и Дальнего Востока, цены 2005 г

Регионы	Конечная Продукция, (млрд. руб.)		Темпы роста продукции, %		Темп роста транспорта, %, (все виды)
Центральный ФО	9049		104.0		103,6
Северо-Западный ФО	2447		105,2		106,5
Южный ФО	2545		104,1		103,3
Приволжский ФО	4268		107.5		106,0
Уральский ФО	2124		103,6		105.7
Сибирский ФО в т.ч.	3080		104,5		106,4
Томская обл.	162		104.0		107,4
Иркутская обл.	417		104,0		106.0
Кемеровская обл.	454		104,4		105.7
Новосибирская обл.	415		104,2		105,3
Алтайский край	328		107.2		106,0
Красноярский край	462		104,7		106,8
Респ. Алтай	31		106,4		105.7
Респ. Бурятия	157		106,9		108,6
Респ. Тыва	47		110,5		106.4
Респ Хакассия	88		104,9		105.5
Омская обл.	328		103.1		105.2
Читинская обл.	191		104.5		106,4
Дальневосточный ФО	1355		104.6		105,2
В целом по России	24867		105.0		105,8

Примечание: Среднегодовые темпы роста даны за период 2005-2015 гг.

поставок может быть обеспечена также снижением в ожидаемой перспективе индивидуальных издержек данного вида услуг.

В целом можно сделать следующий вывод. В рассматриваемой перспективе рост конечного потребления для страны в целом в большей степени определяется ростом собственного производства и внутрироссийскими межрегиональными перевозками, а не ростом экспортных поставок и связанных с этим транспортных услуг.

5. Оценка влияния железнодорожного транспорта Азиатской части России на развитие экономики страны.

При решении этой задачи акцент в исследовании сделан на выявлении наиболее узких мест по регионам, прилегающим к транссибирской магистрали. В качестве конкретного регионального объекта здесь выбрана экономика Красноярского края, на территории которого пересекаются все существующие и перспективные транспортные коридоры по линии Восток - Запад. Рассмотрены четыре варианта развития железнодорожной сети Сибирского и Дальневосточного ФО, соответствующие разным максимально возможным годовым темпам прироста услуг - 4, 6, 8 и 10 %.

Проведенные экспериментальные расчеты еще раз подтвердили положение об исключительной важности опережающего развития транспортного комплекса Сибири и, прежде всего, железнодорожной сети. Это объясняется спецификой производственной специализации большинства сибирских и дальневосточных регионов: продукция их производств является грузоемкой, предполагает перевозки на большие расстояния (2000 и более км.) и требует, в первую очередь, услуг железнодо-

рожного транспорта, а также объектов по выполнению погрузочно- разгрузочных работ.

При минимальных темпах прироста объемов услуг железнодорожного транспорта в Сибири и Дальнего Востока - на уровне 4% в год, и «распределенном» международном транзите темп прироста валового выпуска России не превышает 5,0% (см. табл. 2). При допущениях о возможном более значительном росте объемов услуг железных дорог Сибири и Дальнего Востока заметен рост экономики России, измеряемый в темпах прироста объемов валового выпуска. Это объясняется тем, что расширяются возможности межрегиональных связей Сибири с европейскими регионами страны. Особенно это касается угля, лесной и химической продукции, руд цветных металлов. Постепенно сокращается удельный вес «минимально - обязательных», не всегда эффективных переменных, включенных в задачу по социальным и технологическим мотивам. А главное, в конечное решение задачи вводятся новые способы, отражающие новые железнодорожные магистрали (что тождественно появлению новых связей между регионами).

При росте предложения транспортных услуг, превышающем 10%, рост эффективности практически незаметен. Это особенно проявляется в ситуации обязательного учета ограничений «сверху» на условия, отражающие значимость экологического фактора. Таким образом, для сохранения высокого роста ВВП России до 2015 г в качестве минимально необходимого темпа прироста объемов услуг железнодорожного транспорта в регионах Сибири и Дальнего Востока мы предлагаем считать интервал 6 -8%. При этом обеспечивается рост и остальных видов транспорта. Так по варианту «8% прироста» потребности в услугах автомобильного, трубопроводного, морского транспорта, погрузочно-разгрузочных и транспортно-экспедиционных работ растут с темпом 6,5-9%, а авиационного, шоссейного хозяйства и водного транспорта - 2-3% в год. Вместе с тем наблюдается снижение транспортоемкости отечественной экономики (табл. 3).

Рассчитывать на более интенсивный темп роста экономики страны можно только при новом железнодорожном строительстве и, одновременно с этим, модернизации существующих магистралей и в Сибири, и на Дальнем Востоке. Это объясняется тем, что транспортная сеть всей Азиатской части России «открывает» для дальневосточной промышленности рынки Сибири, Урала и Европейской

Таблица 3

Показатели развития экономики России в 2015 г. при 8%-ом приросте объема услуг железнодорожного транспорта Сибири и Дальнего Востока, цены

Регионы	Конечная продукция (млрд. руб.)	Темп роста продукции, %	Темп роста транспорта, %, (все виды)
Центральный ФО	10406	105.4	105,3
Северо-Западный ФО	2814	105,9	107,5
Южный ФОг	2926	106.5	105,5
Приволжский ФО		106,1	105,3
Уральский ФО	2442	105,0	104,8
Сибирский ФО	3541	105,9	107,0
В т.ч.			
Томская обл.	186	106.2	108,3
Иркутская обл.	479	104.9	106,9
Кемеровская обл.	522	104.7	104.4
Новосибирская обл.	477	106.0	107.8
Алтайский край	378	107.3	109.0
Красноярский край	531	106.3	107,8
Респ. Алтай	35	108.7	111,1
Респ. Бурятия	181	107.8	109.9
Респ. Тыва	54	111.7	112,2
Респ Хакассия	101	107.3	107.7
Омская обл.	378	105.0	107.2
Читинская обл.	220	106.2	109,0
Дальневосточный ФО	1558	105.6	107.3
В целом по России	28596	106.1	106,0

части страны. Конечно, экспорт тех же продуктов в страны АТР, что говорит о другом направлении интеграционных связей, мог бы дать положительный эффект собственно для Дальнего Востока, но не для всей России. Кроме того, обязательность экспортных поставок, приводящая к серьезным ограничениям возможностей транспорта для своих, внутрироссийских, перевозок вряд ли обеспечит эквивалентный обмен вывозимой и ввозимой продукции. При этом нельзя забывать о потенциальной потере рабочих мест внутри страны из-за сокращения поставок ресурсов и полуфабрикатов с Дальнего Востока.

Не является неожиданным результат, свидетельствующий о более весомой значимости транспортной системы Сибири для внутрироссийских интеграционных процессов по сравнению с транспортной системой Дальнего Востока. Это объясняется более интенсивными связями производственных комплексов Сибири с хозяйственными комплексами Урала и европейских регионов России. Разумеется, восточный вектор экспортной составляющей экономики и Сибири, и России в целом практически полностью определяются развитием транспортного комплекса Дальнего Востока, его железнодорожной, трубопроводной и морской составляющими. В данных вариантах расчета их развитие для целей удовлетворения экспортных поставок приняты в качестве обязательных.

Болгов М.В., Иваньо Я.М.

УДК 697.7: 631.371

ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ АГРОТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ВЫСОКОЙ ПОВТОРЯЕМОСТИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПРИРОДНЫХ СОБЫТИЙ

Начало XXI в. ознаменовалось проявлением ряда мощных экстремальных климатических явлений на территории Иркутской области. По данным отдела мобилизационной подготовки гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций департамента АПК региона в разные годы, за период 2001-2006 гг. ущербы, нанесенные сельскому хозяйству, колебались от 250 до 447 млн. руб. Исключением стал 2007 г., когда стихийные природные явления не наблюдались. В результате в этот год получены наибольшие урожаи сельскохозяйственных культур в новом столетии.

Данные за предшествующий период показывают, что чередование различных по происхождению экстремальных гидрометеорологических событий является закономерностью для территории Восточной Сибири [7]. При этом изменчива лишь степень пагубного воздействия природных явлений на сельское хозяйство.

За годы реформ сформировались три категории хозяйств: сельскохозяйственные, крестьянские (фермерские) и личные подсобные. Многие предприятия разорены, другие улучшили свои производственно-экономические показатели. Существует и третий тип хозяйств, которые работают с переменным успехом. Очевидно, что от состояния хозяйства во многом зависит степень влияния стихийных природных явлений на показатели производства. В частности, для предприятий с разными производственными мощностями наводнение может привести к различным потерям. Более сильное хозяйство пострадает в меньшей степени ввиду лучших производственных показателей. Разумеется, что этот логический вывод не касается катастрофического природного явления, когда работа любого хозяйства может быть парализована.

Из всего сказанного следует заключение об использовании разнообразных моделей, оптимизирующих производство растениеводческой и животноводческой отраслей и их сочетания. В работе [2] приведена классификация моделей, примененных при решении различных задач, большинство из которых связаны с сельскохозяйственным производством.

В дополнение к этой статье хотелось бы обратить внимание на качественную сторону некоторых моделей и рассмотреть особенности описания экстремальных природных явлений, в конечном итоге влияющие на результаты моделирования.

Обычно сильные хозяйства по приоритетным направлениям развиваются динамично. Это означает, что большинство многолетних рядов производственно-экономических показателей характеризуется значимыми трендами или (и) высокими первыми коэффициентами автокорреляции [1]. В этом случае для моделирования отраслей сельскохозяйственного предприятия и их сочетания приемлемы задачи параметрического программирования. Задача с множеством параметров имеет вид

$$F = \sum_{j \in J} c_j(t_\omega) x_j, i \in I, \omega \in I, \omega \in W, \quad (1)$$

$$\sum_{j \in J} a_{ij}(t_\omega) x_j \le b_i(t_\omega), \; i \in I, \; x_j \ge 0, \; j \in J, \quad (2)$$

$$x_j \ge 0, \; j \in J, \quad (3)$$

где x_j — переменная,b, t_ω — параметр, c_j, a_{ij}, b_i — заданные коэффициенты, j,i,ω— индексы, принадлежащие соответствующим множествам J, I и W. Выражение (1) стремится к экстремальному значению. При этом параметр t_ω ограничен промежутком $[\alpha_W, \beta_W]$.

Применение многопараметрической задачи имеет смысл для сельского хозяйства, поскольку коэффициенты, входящие в целевую функцию, и ограничения зависимы от множества факторов. С другой стороны, возможность использования множества параметров ограничена продолжительностью многолетних рядов, которая в лучшем случае находится на уровне 10-12 лет. Учитывая социально-экономические перемены эпохи, практическое значение могут иметь задачи параметрического программирования с одним или двумя параметрами, которые нетрудно получить из формул (1)-(3).

Согласно статистическому анализу временных рядов производственно-экономических характеристик сельскохозяйственных предприятий показано, что в качестве параметра применимо время или предшествующее значение. Очевидно, что на полученные результаты оказывает влияние точность и адекватность трендов и уравнений авторегрессии.

Поскольку регрессионные зависимости отражают детерминированную составляющую, с использованием которой определяется будущий план производства, понятна необходимость анализа случайных или непредвиденных отклонений. В частности, для стабильно работающего предприятия "Железнодорожник" серьезное влияние на результаты работы 2003 г. оказала засуха, последствием которой явилось уменьшение урожайности зерновых на 21% по сравнению со средним многолетним значением. Другими словами при отсутствии экстремального природного явления во временном ряду наблюдался бы значимый тренд, и можно было бы реализовать модель параметрического программирования. Отмеченная засуха сказалась и на урожайности сельскохозяйственного предприятия "Белореченское", но не настолько. В отличие от хозяйства "Железнодорожник" по данным предприятия "Белореченское" тренд показателя, характеризующего производство зерна, оказался более устойчивым. Вместе с тем результаты моделирования оптимизации производства растениеводства могли быть на несколько процентов выше по сравнению с реальными показателями.

Приведенные примеры показывают, что даже в работе сильных хозяйств большое влияние на производство оказывают случайные составляющие. Если для предприятия "Белореченское" в случае проявления экстремальных явлений приемлема модель параметрического программирования, то для хозяйства "Железнодорожник" ее применение приводит к неточным результатам.

Применение методов моделирования для многих сельскохозяйственных предприятий позволяет заключить, что в условиях резко континентального климата с постоянным проявлением природных стихий в вегетационный период предпочтения имеют модели, учитывающие неблагоприятные ситуации.

В работах [2, 3, 6] предложены модели с вероятностными характеристиками, описывающими многолетние колебания экстремальных гидрометеорологических явлений. Задача стохастического программирования с отображением множества экстремальных явлений имеет вид

$$P\left[\max(\min) f(X) = CX - DX\right] \ge p, \quad (4)$$

$$P\left[(A - A_1)X \le B - B_1\right] \ge p, \quad (5)$$

$$X \ge 0, \quad (6)$$

где X— вектор, удовлетворяющий системе ограничений, C — вектор-строка, B — вектор-столбец, A — матрица размерности m x n, p — заданная вероятность превышения некоторого критического уровня, $D=(d_1,...,d_n)$— вектор приведенных коэффициентов ущербов. В этом случае экстремум целевой функции (4), коэффициенты при неизвестных и правые части ограничений (5) связаны с вероятностью превышения.

Решение задач, основанных на формулах (4)-(6), является затруднительным в силу ряда причин: 1) громоздкости модели; 2) сложности описания суммы множества вероятностных характеристик, отражающих экстремальные природные явления; 3) необходимости оперировать событиями, представляющими собой хвостовые части вероятностных кривых распределения.

Иными словами, практический интерес вызывают упрощенные варианты задачи (4)-(6). Из общей задачи стохастического программирования с учетом экстремальных природных явлений можно получить частные случаи. Поскольку территория сельскохозяйственного назначения является неоднородной в смысле проявления стихий разного происхождения, то в ряде случаев можно использовать задачу (4)-(6) с одним экстремальным явлением, например, паводком или засухой. Кроме того, упрощения могут быть связаны с изменением критерия оптимальности и ограничений. Так, в частном случае целевая функция принимается в качестве детерминированной, а коэффициенты левой части ограничения или правые части — в виде вероятностных величин.

При решении практических задач оптимизации сельскохозяйственного производства использованы модели с одним природным экстремальным явлением. При этом принималась гипотеза о том, что детерминированной является одна из частей задачи (4)-(6) — целевая функция или условия [3]. Приведем задачу стохастического программирования, используемую для моделирования производства продукции растениеводства в условиях проявления экстремальных событий

$$\max(\min) f(X) = CX, \quad (7)$$

$$P\left[AX \le B - B_1\right] \ge p, \quad (8)$$

$$X \ge 0. \quad (9)$$

В этой задаче вероятностной переменной является правая часть ограничений. В качестве экстремального явления использован дождевой паводок. Кроме того, рассмотрены события, вызванные другой природной стихией — весенним половодьем.

Построение моделей с вероятностными переменными и их применение связано с описанием природных событий. Другими словами, из многолетних рядов характеристик выделяются только те значения, которые превышают некоторый критический уровень или находятся ниже его. От этих значений или событий в конечном итоге зависят ущербы, наносимые сельскому хозяйству предприятия. В других случаях природные возмущения не настолько сильны, чтобы влиять на работу хозяйств. Таким образом, одной из задач построения оптимизационной модели является выделение событий и их описание.

При выделении событий предлагаются два метода. Один из них предполагает использование статистического критерия [7, 8]:

$$x \le \frac{\overline{x} + x_{\min}}{2}, \quad (10)$$

$$x \ge \frac{\overline{x} + x_{\max}}{2}, \quad (11)$$

$$x \le \overline{x} - k\sigma, \quad (12)$$

$$x \ge \overline{x} + k\sigma, \quad (13)$$

где $\overline{x}, x_{\min}, x_{\max}$ — среднее, минимальное и максимальное значения ряда, σ — стандартное отклонение, k — положительный коэффициент, принимающий различные значения в зависимости от рассматриваемого явления. Помимо приведенных неравенств в качестве критерия события при известном законе распределения используют соотношение

$$x \ge x_p \text{ или } x \le x_p. \quad (14)$$

В первом случае случайная величина превышает значение заданной вероятности превышения, а во втором — находится ниже критического уровня x_p.

Другой подход предполагает иерархическую организацию структуры временного ряда [5]. Здесь хронологическая последовательность разделяется на разные уровни благодаря переломным точкам, принимающим меньшие или большие значения в зависимости от ступени иерархии (рис. 1).

В отличие от первого подхода, который предполагает разделение ряда на два уровня — нижний и верхний, использование второго подхода приводит к выявлению четырех ступеней иерархии. Чем выше ступень, тем сложнее анализировать данные, что связано с уменьшением объемов выборок.

Приведенные модели выделения событий имеют различную теоретическую основу и в общем случае позволяют получать разные результаты. Добавим к этому, что вторая модель в большей степени учитывает особенности климатической эпохи и, как было сказано, опирается на переходные процессы, когда подъемы сменяются спадами и, наоборот, за убыванием следует возрастание. Анализ эмпирических данных показывает, что число событий, полученных на основании статистических критериев, не совпадает с количеством переходных точек, найденных по второму подходу на первом уровне выделения. При этом к статистическим параметрам, рассчитанным согласно первой модели, наиболее близкими являются оценки, определенные по значениям второй ступени иерархии. Так, для приведенного примера средние значения рядов, найденные с помощью первого и второго подходов, совпали, составив 2390 $м^3/с$, а коэффициент вариации соответствует в первом случае 0,29, а во втором — 0,35.

Полученные результаты имеют значение при моделировании потоков гидрометеорологических событий и их оценке с помощью вероятностных кривых распределения. Частота появления событий при использовании статистических критериев или оценки переломных точек принимает разные значения. Это касается и ординат вероятностных кривых распределения. В силу сложности описания событий два подхода могут дополнять друг друга.

Для оценки потоков событий применимы различные законы распределения вероятностей. В работе [8] вероятность непоявления события предложено описывать пуассоновским распределением и вероятностными кривыми Ю.Л. Раунера и С.А. Ахманова с соавторами. К недостаткам этих законов распределения можно отнести отсутствие конечного периода появления события, что практически на территории Восточной Сибири исключено. По обработанным пространственно-временным данным об экстремальных гидрологических явлениях определены периоды с нулевыми вероятностями непоявления событий, на основе которых разработана функция распределения потока событий [3].

Особый интерес при использовании стохастических моделей вызывает вероятностное описание ряда значений событий. Здесь предложено использовать законы распределения применительно ко всей многолетней выборке или ее части — событиям [4]. Применение усеченных вероятностных кривых более точно отображает часть выборки, представляющей собой значения событий. Вместе с тем их использование ограничено вероятностью превышения точки усечения, которая должна не превышать 50%. Иными словами необходимо, чтобы число значений в усеченной выборке было не меньше половины полного ряда.

Результаты исследования законов распределения для полных и усеченных гидрологических рядов показали возможности применения вероятностных кривых гамма-распределения. При этом усеченное гамма-распределение использовано в районах частого затопления и подтопления сельскохозяйственных территорий, когда экстремальное явление наблюдается не реже 1 раза в 2 года.

Возвращаясь к стохастическим моделям оптимизации, учитывающим несколько экстремальных явлений разного происхождения, можно отметить следующее. Между засухами, половодьями, паводками, ливнями и другими природными стихиями существуют сходства, которые связаны с формированием потоков событий с нулевыми вероятностями их отсутствия. Во многих случаях характеристики экстремальных явлений отображаются в виде одних и тех же законов распределения. Кроме того, экстремальные явления независимо от происхождения наносят ущербы сельскому хозяйству, различающиеся лишь значениями. Появление разных событий в разные годы ориентирует на использование моделей с учетом суммарного влияния экстремальных явлений на работу сельскохозяйственных организаций. В этом случае возрастает частота появления события, поскольку оно имеет различное происхождение: засуха, ливень, паводок, половодье или другое. Вместе с тем без исследования каждого явления невозможно определить суммарное воздействие экстремальных явлений на работу хозяйств.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. М.Н. Барсукова. Модели с детерминированными и неопределенными параметрами применительно к оптимизации сельскохозяйственных процессов. - Вестник Московского государственного университета

леса "Лесной вестник", 2007, № 6, с. 170-177.
2. М.Н. Барсукова. Об оптимизационных моделях сельскохозяйственного производства: классификация и применение. - XI Международная конференция "Информационные и математические технологии в научных исследованиях". Иркутск: Изд-во ИСЭМ СО РАН, 2006, с. 49-57.
3. А.Ю. Белякова. Оптимизация сельскохозяйственного производства в условиях природно-климатического разнообразия Приангарья. - Совместная деятельность сельскохозяйственных товаропроизводителей и научных организаций в развитии АПК Центральной Азии: сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. (Иркутск, 25-27 марта 2008 г.). Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2008, Ч. IV, с. 78-85.
4. М.В. Болгов. Современные проблемы оценки водных ресурсов и водообеспечения. М.: Наука, 2005, 318 с.
5. И.П. Дружинин. Динамика многолетних колебаний речного стока. М.: Наука, 1991, 178 с.
6. Я.М. Иваньо. Моделирование сельскохозяйственного производства с учетом экстремальных природных событий. - Материалы научной конференции "Фундаментальные проблемы изучения и использования воды и водных ресурсов". Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2005, с. 230-232.
7. Я.М. Иваньо. Экстремальные природные явления: методология, моделирование и прогнозирование. Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2007, 267 с.
8. Н. Кренке, М.М. Чернавская, Р. Браздилл и др. Изменчивость климата Европы в историческом прошлом. М.: Наука, 1995, 224 с.

Лонцих П.А., Резник Ю.Н., Лескова Т.М. УДК 006.354, 382.3

ПРОБЛЕМЫ СЕРТИФИКАЦИИ И АУДИТА СИСТЕМ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

Основные цели, принципы и общие положения по проведению сертификации в РФ определены "Правилами по проведению сертификации в Российской Федерации". Эти правила распространяются на организацию и проведение работ по обязательной и добровольной сертификации продукции, услуг, процессов, производств, систем качества.

С 1995 г. в России введен рациональный стандарт ГОСТ Р 40.001-95, устанавливающий принципы и общие правила сертификации, с учетом международных стандартов ИСО 9000 и ИСО 10011, руководств ИСО/МЭК 40, 48, 53, 56, 61, 62, европейского стандарта EN 45012, [1-3] .

Для обеспечения квалифицированной деятельности по сертификации Госстандартом РФ сформирована и действует "Российская система сертификации персонала». В системе сертификации ГОСТ Р Госстандартом России создан "Регистр системы качества", представляющий собой систему, действующую в соответствии с зако-нодательством РФ, правилами по сертификации, государственными стандартами, а также международными правилами и процедурами. К сертификации в Регистре допускаются все организации, выразившие желание осуществить сертификацию и признающие установленные принципы, требования и правила.

Сертификация систем качества может проводиться как в рамках обязательной сертификации продукции, так и в рамках добровольной сертификации. В первом случае сертификация систем качества осуществляется, если это предусмотрено способом (формой, схемой) сертификации этой продукции; во втором - если это продиктовано интересами предприятия-заявителя.

Обязательная сертификация в России, как это предусмотрено Законом "О сертификации продуктов и услуг, вводится законодательными актами и проводится уполномоченными органами федеральной исполнительной власти. Согласно Закону "О защите прав потребителей" обязательной сертификации под-

лежат товары и услуги, на которые установлены требования безопасности жизни, здоровья и охраны окружающей среды, предотвращению вреда собственности, а также сами средства защиты жизни и здоровья потребителя. Применительно к обязательной сертификации сформулирована "Система сертификации ГОСТ Р".

Добровольная сертификация в России проводится по инициативе юридических лиц и граждан на основе договорных отношений между заявителями и органами сертификации. Такую сертификацию могут проводить юридические лица с функциями проведения добровольной сертификации, зарегистрировавшими свои системы сертификации и знаки соответствия в Госстандарте РФ, а также органы по обязательной сертификации в пределах области своей аккредитации.

Национальным органом по сертификации в России является Госстандарт Российской Федерации, который координирует деятельность федеральных органов исполнительной власти по обязательной сертификации, устанавливает общие правила и рекомендации, требования к экспертам по сертификации (аудиторам), порядок их подготовки и аттестации, ведет Государственный реестр систем сертификации и знаков соответствия, взаимодействует с национальными органами стран СНГ и дальнего зарубежья.

Госстандарт России, совместно с другими органами федеральной исполнительной власти, создают системы сертификации однородной продукции, устанавливают правила и процедуры проведения сертификации в этих системах, осуществляют выбор схем сертификации, определяют центральные органы системы сертификации, устанавливают правила аккредитации и выдачи лицензий на проведение работ по обязательной сертификации, аккредитуют органы по сертификации и испытательные лаборатории, ведут государственный реестр участников и объектов сертификации, рассматривают апелляции, выдают сертификаты и лицензии на применение знака соответствия, представляют их на государственную регистрацию. Центральные органы систем сертификации однородной продукции проводят работу по формированию системы, руководят системой, координируют работу организаций, входящих в систему. В Системе при проведении сертификации оцениваются показатели, определяющие качество оказываемых услуг, производится ее идентификация, соответствие ее определяющим документам, оценка компетентности персонала.

Госстандартом России сформирована и функционирует Российская система сертификации персонала, включающая специализированную Систему сертификации экспертов. Подготовка экспертов осуществляется Академией проблем качества (АПК), Академией стандартизации, метрологии и сертификации, и другими аккредитованными для этих целей организациями. Так, в 2005 г.в Иркутске создано Восточно-Сибирское Региональное отделение Европ. Центра Качества. Разработаны программы с учетом требований ИСО 10011-2, определены процедуры и порядок аттестации экспертов, правила их регистрации в государственном реестре.

По результатам сертификации систем качества предприятию выдается сертификат на систему качества. Знак соответствия системы качества состоит из единого Знака системы, свидетельствующего об аккредитации органа по сертификации, и Знака органа по сертификации. Знак соответствия размещается на сертификате на систему качества. Как сертификат на систему качества, так и Знак соответствия системы качества могут использоваться владельцем сертификата в рекламных целях. Однако, во избежание неправильного толкования значения Знака соответствия системы качества, не допускается проставлять его на продукции.

Нормативной базой для сертификации СМК является стандарт ГОСТ Р 40.003-2005. «Регистр системы качества. Порядок сертификации СМК на соответствие ГОСТ Р ИСО 9001-2001». Цели и принципы стандартизации в РФ установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 года N 184-ФЗ "О техническом регулировании", а правила применения национальных стандартов РФ - ГОСТ Р 1.0-2004 "Стандартизация в РФ. Основные положения».

Развитие процесса аккредитации в России обусловило необходимость аккредитации различных организаций и объектов, осуществляющих оценку соответствия. С этой целью сформирован свод правил и стандартов, устанавливаемых для работы Российской системы аккредитации (РОСА). В этих стандартах реализованы положения Законов РФ "О защите прав потребителей", "О сертификации продуктов и услуг", "Об обеспечении единства из-

мерений" в части аккредитации испытательных и измерительных лабораторий, органов по сертификации, а также руководств ИСО/МЭК 55, ИСО/МЭК 28, ИСО/МЭК 40, Европейских стандартов EN 45000 и работ Международной конференции по аккредитации испытательных лабораторий.

Учитывая высокую степень конкуренции, можно утверждать, что стоимость услуг по сертификации ведущих компаний достаточно близка. Поэтому в качестве дополнительных критериев для принятия решения приняты:

- наличие опыта в сертификации в профильных (для Компании-Заказчика),
- Российская ли компания и наличие у нее аккредитаций в ряде стран (в которых у Компании могут быть деловые интересы).
- наличие Российского представительства и, соответственно, возможность подготовки документов и обмена информацией на русском языке,
- готовность к сотрудничеству с представителями Российского консалтинга на предмет подготовки пакета документов, что весьма важно для снижения затрат на сертификацию.

Укажем следующие известные Органы по сертификации:

1. АС «Русский Регистр»,
2. TUV CERT ,
3. Bureau Veritas Quality International,
4. Lloid`s Register Quality Assurance Ltd,
5. SGS International Certification Services,
6. СоюзСерт .

Очевидно, что наличие системы менеджмента качества на предприятии — важнейший элемент обеспечения конкурентоспособности на рынке. Да, это затратная процедура. Но еще один из отцов- основателей принципов качества Ф. Кросби заявлял: «Quality is Free!». Сертификация по стандартам ISO 9000 предполагает соответствие системы качества предприятия ряду как содержательных, так и формальных требований. Процесс приведения системы качества в соответствие этим требованиям может быть весьма трудоемким и, как правило, занимает много времени. Поэтому, прежде чем принять решение о подготовке системы качества к сертификации по ISO 9000 или иного, в том числе сертификата интегральной системы менеджмента[1], руководство предприятия должно тщательно взвесить все "за" и "против", а также ясно определить зачем компании нужен сертификат на систему качества. Наличие сертификата семейства ISO 9000 является обязательным лишь в отдельных отраслях, преимущественно, связанных с продукцией, от качества которой зависит жизнь и здоровье людей. Иногда наличие сертификации является требованиям системы качества самого заказчика. В остальных случаях сертификат ISO 9000 не является обязательным, однако может обеспечить преимущество при выборе поставщика.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Марцынковский, Д.А. Руководство к интеграции систем менеджмента / Д. А. Марцынковский, А. В. Владимирцев, О. А. Марцынковский; Ассоциация по сертификации «Русский Регистр». Санкт-Петербург: Береста, 2008., — 78 с.
2. ISO Guide 72:2001. "Guidelines for the justification and development of management system standards".
3. Марцынковский, Д.А. Методология планирования системы менеджмента качества: Методическое пособие. — СПб.: Издание УМЦ «Регистр-Консалтинг», 2007. — 26 с.

Дмитренко А. В.

УДК 656. 22

ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СВЯЗЕЙ, С УЧЕТОМ ХАРАКТЕРА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТА

На современном этапе проведения экономических реформ наибольшие успехи в хозяйственной деятельности страны могут быть достигнуты в первую очередь за счет совершенствования сельскохозяйственного производства, увеличения производства продуктов питания для населения. Обеспечение населения страны собственными продуктами питания на территории своего государства в настоящее время позволяет значительно сократить потребность в заграничной валюте. Появившиеся средства создадут возможность приобретать новую технику, что обеспечит значительный технический прогресс в хозяйстве страны. Успехов в сельскохозяйственном производстве возможно достичь за счет повышения степени использования имеющихся земель, улучшения качества работы транспорта, использования свободной рабочей силы, особенно пенсионеров, для работы на дачах и сбора даров природы в летний период.

В прошлые десятилетия в основе структуры управления хозяйственной деятельности каждой страны был положен принцип преимущественного влияния на экономические результаты вида собственности. Так, при социалистической системе хозяйствования наиболее эффективной считалась общественная собственность на орудия и средства производства [5].

На современном этапе проведения экономических реформ стали считать более эффективной частную собственность на орудия и средства производства. В производственной деятельности и в сельском хозяйстве начали широко внедряться в практику акционерные предприятия, рекламируются преимущества фермерских хозяйств [3, 4].

В то же время, практика показала, что в функционировании сельскохозяйственного производства страны в последние годы возникло много ранее не имевших место недостатков. Так, появилось много свободных необработанных земель, значительно снизилось поголовье скота, оказалось много безработных, преимущественно в сельской местности. В восточных районах страны, а также на окраинах областей не используются значительные территории, где с успехом могут создаваться новые материальные ценности.

В создавшихся условиях для обеспечения роста экономического могущества страны встает вопрос об установлении рациональной структуры функционирования сельскохозяйственных предприятий, с учетом влияния наиболее существенных факторов, оказывающих значительное влияние на увеличение производства продуктов питания для населения всей страны в целом.

Существование человеческого общества показало, что основными причинами роста объемов производства стран мира являются не вид собственности (частная или общественная), а технологические причины. К данным видам обеспечения достижения успехов в экономике является применение в практической деятельности новых более прогрессивных технологий, использование внешних источников энергии, применение капитальных вложений в производственных процессах, участие в работе предприятий специалистов высокой квалификации.

К технологическим причинам в сельскохозяйственном производстве относится также характер работы транспорта, связанный как с непосредственным выращиванием продуктов питания, так и с доставкой выращенной продукции на большие расстояния с сельской местности в крупные города. Характер изменения транспортных затрат, а также особенность использования свободного времени населения, могут оказать существенное

влияние на эффективный вид собственности, рациональную структуру сельскохозяйственного производства в целом на современном этапе научно-технического прогресса.

На начальном этапе исследования условно принимается, что все население, в том числе и самых крупных городов, обеспечивается продуктами питания с полей, расположенных на территории своей области. При этом, в отличие от железнодорожного транспорта, груженое направление продуктов питания с любой точки области направлено в сторону самых крупных городов. В обратном направлении из города в село транспортные единицы обычно следуют в порожнем состоянии [1, 2].

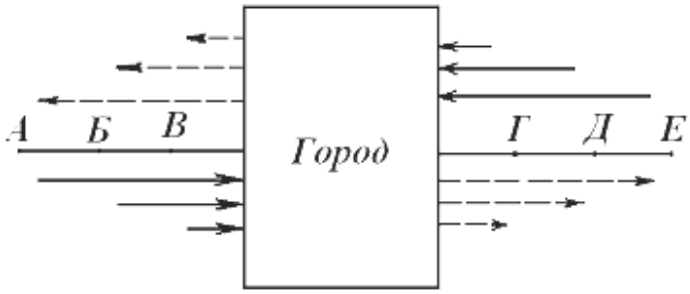


Рис. 1. Схема потоков в различных частях области
$\rightarrow$ - груженые потоки в город; $-\rightarrow$ - порожние потоки из города

Для сельскохозяйственного производства груженое направление направлено навстречу друг к другу. Порожнее направления направлено в разные стороны от центра города. Зоны по различию территории характеризуются особенностями, приведенными на рис. 1.

При оценке рациональной структуры управления сельскохозяйственным производством следует учитывать необходимость потребления людьми разнообразных продуктов питания. Ведь разнообразие в пище, особенно применение витаминов, позволяет обеспечивать здоровый образ жизни, более рациональное строение человеческого тела, уменьшение количества и тяжесть болезней.

В настоящей статье будет рассматриваться возможное влияние на рациональное производство и потребление продуктов питания следующих факторов, характерных для каждой области.

А) Наличие транспортных затрат, связанных с доставкой продуктов питания для жителей крупных городов.

Б) Наличие работоспособного населения в данном районе каждой области, с учетом величины городов.

В) Климатические условия местности в данной области;

Г) Наличие дорог, лесов, плодородных площадей, равнинной местности и горных условий.

Для обеспечения достижения высоких успехов в обеспечении населения продуктами питания становится целесообразным использовать всю полезную площадь каждой области для обеспечения функционирования сельскохозяйственного производства. При этом необходимо достигать наименьших транспортных затрат, а также лучшего использования свободного времени населения. Необходимо при лучшем качестве достигать большего количества ассортимента продуктов питания: овощи, зерно, фрукты, мясо, рыба и др.

Из всех данных факторов: климат, наличие горных и равнинных условий, плодородной площади могут быть одинаковыми для любой части территории области. Поэтому данные факторы в малой степени оказывают влияние на рациональную структуру управления сельскохозяйственным производством и в настоящей статье не рассматриваются.

Совершенно другое влияние на характер затрат, связанных с производством сельскохозяйственной продукции, её транспортировкой до пунктов потребления существенное влияние оказывают:

- дальность подвоза продуктов питания до основной части населения области, проживающей в самых крупных городах;

- численность работоспособного населения, приходящегося на 1 км^2 площади данного района области;

- возможную эффективность капитальных вложений в строительство дорог, производственных зданий, устройства инфраструктуры.

С учетом выше приведенных факторов, рациональная структура управления сельскохозяйственным производством, эффективный вид собственности будут устанавливаться для следующих трех основных групп

территорий, имеющих место в каждой области.

- ближняя зона;
- средняя зона;
- дальняя зона.

Ближняя зона. Данная зона расположена непосредственно за городской территорией в дачной зоне. С увеличением численности населения городов возрастает площадь ближней зоны.

Для ближних зон характерен значительный избыток рабочей силы жителей крупных городов, способных выращивать продукты питания в свободное от работы время. Для данной ближней зоны городские жители могут с успехом использовать свое свободное время для выращивания продуктов питания, особенно в период отпусков или для пенсионеров в летний период.

В ближней зоне, в пределах 10 - 50 км, должно быть организовано преимущественно дачное хозяйство в личной собственности жителей данных городов. Для дачной зоны характерна высокая урожайность и значительном разнообразии сельскохозяйственных культур. Это позволяет сократить потребность в завозе в крупные города продуктов питания, как с окраин области, так и из-за границы. При этом, по сравнению с общественным характером собственности, в случае наличия собственных дач, обеспечивается сокращение до 5 — 8 технологических и транспортных и перегрузочных операций в масштабах всей страны. Также вблизи крупных городов обеспечивается больший выход продуктов питания как по калорийности, так и по ВЕСУ. Это обеспечивает значительное сокращение транспортных затрат, в случае доставки продуктов питания в города с большим населением.

Эффективность различных форм сельскохозяйственного производства будет оцениваться с постепенным удалением каждой рассматриваемой территории от центра самых крупных городов. Так, с удалением от областного центра уменьшается возможность обеспечения городским населением выращивания продуктов питания. Кроме того, по мере удаления от областного центра уменьшаются возможность транспортировки выращенных городскими жителями продуктов питания за счет большего расстояния их перевозки в крупные города.

На рациональную структуру сельскохозяйственного производства оказывает значительное влияние численность населения, которое в состоянии обслуживать территорию для обеспечения выращивания продуктов питания жителями крупных городов.

Для Сибири и Дальнего Востока дополнительно характерно, что по мере удаления данных территорий от областных городов на север ухудшается климат, который становится более суровым и менее пригодным для выращивания продуктов питания для населения. С удалением от города также уменьшается возможность возделывания плодородной территории городскими жителями за счет увеличения транспортных затрат.

Для БЛИЖНЕЙ ЗОНЫ на небольших расстояниях обработка почв будет обеспечиваться, в основном, населением городов. При этом будут выращиваться, в основном, продукты питания, имеющие большой удельный вес, требующие больших затрат ручного труда, специфичных условий их переработки, позволяющих иметь большой ассортимент товаров мелкими партиями. Данные продукты требуют сложных условий хранения, так как являются наиболее скоропортящимися, особенно в летний период.

При наличии дач не требуется особых капитальных затрат в технические объекты и в оборудование для обеспечения выращивания продуктов питания. Данная зона по обработке почв должна обеспечиваться, в основном, городскими жителями, преимущественно пенсионерами, которые могут использовать свое свободное время для выращивания продуктов питания в летний благоприятный период.

Возможность в выращивании продуктов питания и необходимая дальность перевозок продуктов питания по территории области зависит от величины городов. Так, с увеличением численности населения возрастает застроенная территория областного центра. При этом также увеличивается площадь, которую городские жители могут с успехом обслуживать для выращивания продуктов питания. Поэтому с увеличением численности населения крупного города возрастает как площадь, так и протяженность ближней зоны.

Территория СРЕДНЕЙ ЗОНЫ будет обслуживаться преимущественно сельскими жителями, живущими в данном районе. В начале данной зоны ближе к областному центру плотность населения будет сравнительно высока. Однако в дальнейшем по мере удаления

от крупного города численность сельского населения, приходящегося на 1 его территории, будет постепенно сокращаться.

Для средней зоны при сравнительно большой плотности населения вблизи от крупного города становится целесообразным организовать зерновое хозяйство. Вблизи крупного города, непосредственно за дачной зоной эффективно строить животноводческие комплексы с высокой степенью механизации.

Для данной территории должны быть организованы регулярные транспортные связи между сельской местностью и жителями крупных городов. Должна быть организована быстрая доставка молочных продуктов, а также других скоропортящихся продуктов питания, производимых жителями сельской местности.

Для СРЕДНЕЙ ЗОНЫ в больших масштабах должна быть организована механизированная пахота плодородных сельскохозяйственных земель. При этом должны быть использованы все приемы повышения урожайности, увеличения сбора выращенных сельскохозяйственных культур с имеющейся благоприятной территории области. В случае высокой степени механизации в данной средней зоне будет обеспечиваться наиболее полное использование всей имеющейся территории по сбору урожая.

В дальнейшем, по мере удаления от крупного города для каждой области имеется ОКРАИННАЯ ЗОНА, сельскохозяйственное производство для которой характеризуется определенными особенностями.

На окраинной зоне области имеется мало населения в расчете на 1 площади. Люди не в состоянии обрабатывать все имеющиеся огромные плодородные земли, даже с применением механизации. Поэтому на окраинах области на самом высоком уровне должно функционировать ЖИВОТНОВОДСТВО. Ведь животноводство обеспечивает получение любых продуктов питания особо высокого качества. При этом достигается получение других побочных продуктов высокого качества: шерсть, шкуры для дубленок и др.

На окраинах области наиболее эффективным становится разведение Овцеводства. Вызвано это тем, что для овцеводства в наименьшей степени требуются пахотные земли. Не требуются огромные затраты в строительство дорог. Данные районы в транспортном отношении могут обслуживаться путем использования путем разведения овцеводства. При наличии животных могут быть использования для скармливания им трав со всей без исключения плодородной площади, неблагоприятной по условиям рельефа местности для использования современной высокопроизводительной техники.

На окраинах областей также эффективными становится разведение пчеловодства. При его разведении могут быть с успехом использованы существующие земли, малопригодные для использования других сельскохозяйственных культур [6].

На практике оказалось, что в случае организации животноводства один рабочий человек оказывается в состоянии обеспечивать функционирование наибольшего размера полезной площади, по сравнению с другими видами хозяйственной деятельности в сельской местности. Так, для окраин области имеющиеся площади в сельской местности будут использоваться только для организации выпаса скота и заготовки кормов. При наличии животноводства, и особенно овцеводства с большой пользой будут использоваться непригодные для пахоты земли. В случае выпаса овец в сложной по рельефу местности с большой пользой будут использоваться травы, которые пропадают в условиях механизированного сельскохозяйственного производства.

При наличии животноводства равнины будут использоваться для заготовки кормов, а малопригодные для механизации площади будут использоваться для выпаса скота, преимущественно овец. Это приведет к тому, что для окраинной зоны каждой области практически не нужно будет выполнять дорогостоящей технологической операции — ПАХОТЫ, требующей больших затрат дефицитного топлива. Минимальной величины капитальных затрат возможно достичь только при организации животноводства и особенно овцеводства.

Выше приведенная особенность обеспечения функционирования площади территории области населением в выращивании продуктов питания окажет влияние на рациональную структуру организации сельскохозяйственного производства в плане:

- рационального соотношения частной и общественной форм собственности для предприятий, находящихся на различном удалении от областного центра;

- установления рациональной структуры производства в области применения транспорта, на организации строительства новых дорог.

Рациональная форма собственности в зависимости от места нахождения сельскохозяйственной территории области от центра города устанавливались для различных зон следующим образом.

Для ближней зоны одна семья при наличии у нее в собственности малой площади оказывается в состоянии в полной мере выращивать и потреблять все выращенные ими продукты питания. Поэтому для ближней зоны должна быть частная собственность на орудия и средства производства. При этом эффективность структуры управления зависит от затрат труда, характера применения удобрений и знаний о сельскохозяйственных культурах. Поэтому при частной собственности на дачах достигается наибольший эффект от использования для выращивания продуктов питания труда городских жителей.

Совершенно другое положение создается для средней и окраинной зон каждой области, где менее целесообразной становится возможность обслуживания площадей жителями крупных городов. Для данной территории обработка почв и организация сельскохозяйственного производства будут достигаться с применением механизации только сельскими жителями.

При наличии частной собственности для большой территории в данных зонах один человек должен будет организовывать все виды деятельности: и организацию сельскохозяйственного производства и зернового хозяйства и ведение животноводства. Поэтому для частного вида собственности в случае организации производства в средней зоне потребуются огромные затраты на образование, освоение и практическое применение значительного количества техники.

В то же время, при наличии общественной собственности и коллективном хозяйстве, а также для акционерной собственности, появляется возможность организовать рациональные формы ведения сельскохозяйственного производства. Так, более эффективно используется вся территория области в случае организации выращивания различного вида сельскохозяйственных культур. При этом будут лучше использоваться имеющиеся технические средства, потребуются меньшие затраты на подготовку квалифицированных кадров, приобретение навыков в организации функционирования большого количества разнообразной техники. Поэтому для средних и окраинных зон более эффективными становятся общественные формы ведения экономической и хозяйственной деятельности сельскохозяйственного производства предприятиями страны.

При наличии общественной собственности для средних и окраинных зон большие массивы земель будут использоваться для скармливания крупными стадами животных трав в малопригодных землях. Поэтому в средней и в окраинной зоне при наличии общественной собственности будет обеспечиваться лучшее использование всех категорий земель.

Особое влияние на структуру сельскохозяйственного производства оказывают **транспортные затраты**, связанные с производством и выращиванием продуктов питания, а также с их доставкой до населения крупных городов.

Организация личного дачного хозяйства на небольшом расстоянии от города приведет к тому, что сократится размер транспортных затрат по доставке выращенных продуктов питания в крупные города. Выращенная на большом удалении от города продуктов питания, имеющих меньший урожай, а также продуктов животноводства, вызовет сокращение транспортных затрат, связанных с доставкой продуктов питания до населения, проживающих в крупных городах.

Структура сельскохозяйственного производства окажет влияние на характер дальнейшего развития сети дорог на перспективу. На современном этапе развития технического прогресса большая часть выращенных на полях в сельской местности продуктов питания затем должна будет доставляться до населения крупных городов, преимущественно автомобильным транспортом. Эффективность строительства дорог будет зависеть от дальности расположения сельскохозяйственной территории по отношению к крупному городу.

Для ближней зоны сходятся все потоки продуктов питания, а также строительные грузы, лес, топливо и другие виды товаров, которые потребляются населением и промышленностью крупных городов. Значительное увеличение потоков грузов и пассажиров,

приходящихся на единицу площади, по мере приближения к крупным областным городам, приводит к тому, что у города экономически целесообразно иметь железные дороги, а также автомобильные дороги с твердым покрытием. В то же время, по мере удаления от города грузонапряженность автомобильных дорог падает. Становится менее целесообразным для отдаленных районов с целью освоения районов иметь значительную протяженность простейших автомобильных дорог.

Основные рекомендации и выводы.

1. На рациональную структуру сельскохозяйственного производства, эффективную сферу применения частной и общественной форм собственности значительное влияние оказывает удаленность плодородной площади от центра города, возможность использования свободной рабочей силы крупных городов.

2. Всю сельскохозяйственную территорию области целесообразно разделить на ближнюю, среднюю и дальнюю зоны. Ближнюю зону целесообразно обслуживать жителями крупных городов. Здесь должно быть преимущественно частная собственность. Для более удаленных средней и окраинной зон обслуживание должно осуществляться сельскими жителями. Наиболее целесообразно в данных районах, удаленных от областного центра, должно быть общественная форма собственности на орудия и средства производства.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Перспективы развития транспорта при переходе к рынку [Текст] / Аксененко Н. Е., Дмитренко А. В., Милованов А. И., Поздеев В. Н // Ж.-д. трансп. — 1993. — № 2. — С. 37 — 42.
2. Грунтов, П. С. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте [Текст] / Грунтов, П. С. [и др.]. — М. : Транспорт, 1994. — 542 с.
3. Ван Хорн, Дж. К. Основы управления финансами [Текст] / Ван Хорн Дж. К. — М. : Финансы и статистика, 1997. — 800 с.
4. Кэмппбелл, Р. Экономикс [Текст] / Кэмппбелл Р., Макконнелл Стэнли, Л. Брю. — М. : Республика, 1993. — Т. 1. — 400 с.
5. Ленин, В. И. Полное собрание сочинений [Текст] / В. И. Ленин.— М. : Политиздат, 1060. — Т. 3. — 580 с.
6. Суворов, А. В. Пчелы и пасека [Текст] : опыт, советы, рекомендации. — 2-е изд., доп. и перераб. — Ростов н/Д. : Феникс, 2003. — 416 с.

Айзенберг Н.И.

УДК 566:372.8

ПРОБЛЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЦЕН И ТАРИФОВ НА ПРОДУКТЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ МОНОПОЛИЙ[1]

Регулирование экономической деятельности в широком смысле можно определить как вмешательство государственных органов (федеральных, региональных, муниципальных) в работу рыночных механизмов с целью корректировки поведения покупателей и продавцов. В идеале государство регулирует только в тех случаях, когда функционирование рынка приводит к неудовлетворительным результатам. Одним из таких провалов рынка признана естественная монополия.

Принципы регулирования тарифов, действующие в настоящий момент для отраслей естественных монополий в России, опираются на установление тарифов, гарантирующих инвестиционную привлекательность этих секторов экономики (установление нормы отдачи на капитал привлекательной для собственника и инвестора). При этом не оце-

[1] Исследования выполнены при финансовой поддержке РГНФ (проект 06-02-00266а).

нивается оптимальность тарифа с точки зрения общественного благосостояния.

Новые способы хозяйствования, в том числе связанные с либерализацией некоторых частей естественно-монопольных отраслей, стимулируют использовать современные методы регулирования цен. В частности оптимизационные модели могут обеспечить баланс интересов потребителей, регулируемых предприятий и государства. Одним будут выгодны доступные цены, другим — достойные финансовые результаты и инвестиционная привлекательность их предприятий.

Определение естественной монополии

На данный момент теория естественной монополии оперирует двумя определениями. Классическое — охватывает однопродуктовое производство [7]. Ключевым моментом считается наличие экономии от масштаба производства. В этом случае функция средних издержек *AC(Q)* является убывающей от объема выпуска

$$AC(Q)=\frac{C(Q)}{Q},$$

где $C(Q)$ — функция общих затрат монополиста (включает необходимую нормальную прибыль), обеспечивающая получение нормальной прибыли, Q — объем выпуска.

Большинство отраслей не являются однопродуктовыми, а производят несколько видов продукции, причем различных по издержкам. Современное определение естественной монополии учитывает это. Оно основано на субаддитивности издержек [2]. Многопродуктовая фирма представляет собой естественную монополию, если функция ее издержек $C(Q)$ является субаддитивной, то есть для любого вектора объемов выпуска $Q=(Q_1,Q_2,\ldots,Q_k)$ выполнены соотношения:

$$Q=Q_1+Q_2+\ldots+Q_k,$$
$$C(Q)<C(Q_1)+C(Q_2)+\ldots+C(Q_k).$$

Для структуры издержек естественной монополии характерным является высокая доля постоянных затрат. Вследствие этого предельные издержки меньше средних при достаточно больших выпусках продукта. Ценообразование, ориентированное на предельные издержки, в этих условиях не годится. Необходим обязательный учет постоянной составляющей затрат.

Помимо ключевых характеристик естественная монополия обладает рядом признаков: высокой капиталоемкостью, невозможностью хранения продукции, неравномерностью спроса, существованием локальной специфики, значимостью данной продукции для общества и др.

Критерий оптимальности функционирования естественной монополии.

Социально оптимальным результатом деятельности естественной монополии является результат, который обеспечивает наибольший совокупный излишек, вычисляемый как сумма общего потребительского благосостояния и прибыли монополии [1,2,3,6,8].

Рассмотрим определение функции общественного благосостояния для однопродуктовой естественной монополии.

Пусть $P(Q)$ - обратная функция спроса (цена), $MC(Q)=\frac{\partial C(Q)}{\partial Q}$ — предельные издержки фирмы, $U(Q)$ — суммарная полезность от потребления Q.

Тогда задача максимизации общественного благосостояния выглядит следующим образом:

$$\max_Q\{(U(Q)-P(Q)Q)+(P(Q)Q-C(Q))\}. \qquad (1)$$

В первой скобке находится общее благосостояние потребителей, во второй — прибыль монополии. Решение задачи (1) показывает, что оптимальная цена лежит на пересечении функции спроса и предельных издержек.

$$P(Q)=MC(Q). \qquad (2)$$

Это решение определяет условие покупки последней единицы продукции, когда предельная полезность равна цене $\frac{dU(Q)}{dQ}=P(Q)$. Цену, устанавливаемую в соответствии с (2) принято называть «первое наилучшее решение».

Однако в ситуации естественной монополии равенство цен предельным издержкам будет означать прямые убытки для фирмы. Причиной этого является то, что при ценообразовании по предельным издержкам никак не учитываются постоянные затраты производства. Для естественной монополии, где существует эффект экономии масштаба, предельные издержки меньше средних вплоть до очень больших объемов выпуска. Поэтому полученная от продажи потребителям продукта по цене (2) выручка не обеспечит покрытия всех издержек монополии. На рис. 1 при цене, установленной на уровне «первого наилучшего решения» (точка А), возможные убыт-

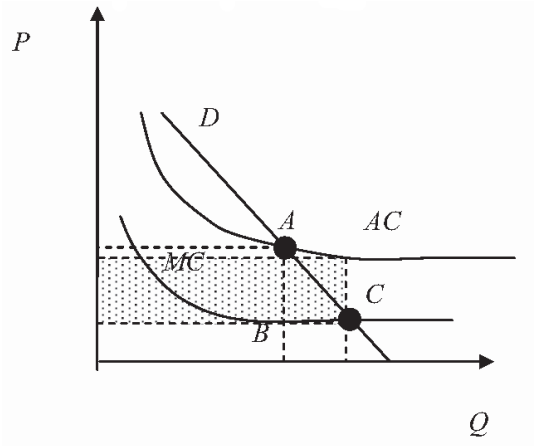


Рис.1. Первое (точка *A*) и второе (точка *C*) наилучшие решения при определении цены на продукцию естественной монополии, *D* - функция спроса, ΔABC - «мертвые потери» при назначении цены на уровне второго наилучшего решения

ки фирмы составляют заштрихованную площадь.

Чтобы избежать убытков для монополии можно решать задачу максимизации (1) при дополнительном условии превышения или равенства выручки монополии ее издержками.

$$\max_{Q}\{(U(Q)-P(Q)Q)+(P(Q)Q-C(Q))\}; \quad (3)$$

$$C(Q)\le P(Q)Q. \quad (4)$$

Решение задачи (3)-(4) называется «вторым наилучшим решением» (точка *C* на рис.1). Эта цена, установленная на уровне пересечения функции спроса и средних издержек фирмы:

$$P(Q) = AC(Q).$$

С одной стороны в этом случае монополия не несет потерь. С другой - существует часть неудовлетворенного спроса, а также «мертвые потери» - площадь треугольника *ABC.* Это некоторая потерянная часть потребительского излишка и излишка производителя, связанная с уходом из точки оптимума в задаче (1) в точку оптимума задачи (3)-(4). Очень большая величина таких потерь может быть недопустима для общества.

Из вышеизложенного видно, что при функционировании естественной монополии общество неизбежно сталкивается с проблемами, которые принято решать с помощью государственного регулирования. Основы методов регулирования будут описаны ниже.

Принципы регулирования естественной монополии.

Базовые методы регулирования естественной монополии основаны на принципах, предложенных Бротигамом [4]. Их применение основано на оценивании величины «мертвых потерь» конкретного производства. В случаях, когда потери велики (рис.2а), предполагается ориентироваться на методы регулирования, позволяющие выйти на «первое наилучшее решение»: субсидирование, ценовую дискриминацию, многокомпонентные тарифы и др.

Если же мертвые потери невелики (рис.2б) и общество может смириться с ними, то ищется возможность введения альтернативной конкуренции либо используется регулирование, побуждающее монополию выйти на «второе наилучшее решение»: цены Рамсея, ценовые лимиты, норма отдачи и др.

Методы регулирования, приводящие к «первому наилучшему решению».

Предоставление субсидий монополии.

При линейном ценообразовании по предельным издержкам монополия несет убытки. Чтобы покрыть все свои потери, фирма должна получить недостающие средства в виде субсидий от государства.

Если издержки предоставления субсидий равны нулю, то такие платежи простое перераспределение между обществом и монополистом [5]. Однако это идеальная и недостижимая на практике ситуация. Пусть при предоставлении субсидии в один рубль общество несет дополнительные затраты на сбор и управление средствами в государстве λ руб.

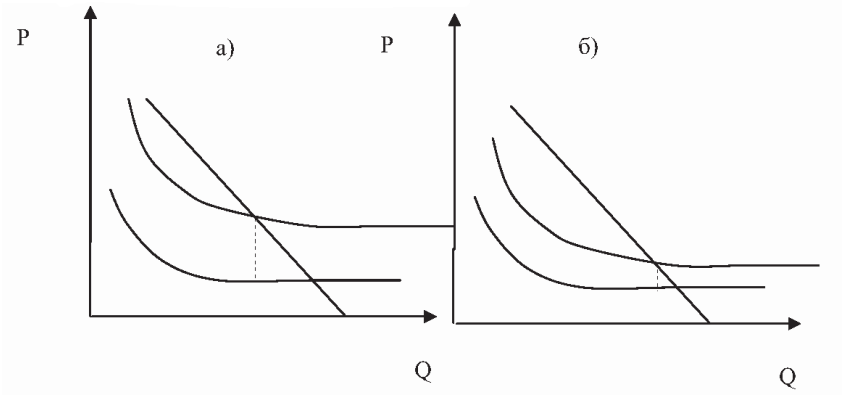


Рис. 2. Два варианта мертвых потерь в случае естественной монополии: (а) большие мертвые потери, (б) небольшие мертвые потери

Таким образом, общие затраты на предоставление субсидий будут равны $(1 + \lambda)$.

В этом случае у монополиста нет прибыли, поэтому функция общего благосостояния — это благосостояние потребителей минус издержки предоставления субсидий.

$$\max_{Q}\{(U(Q)-P(Q)Q)-(1+\lambda)(C(Q)-P(Q)Q)\}. \quad (5)$$

Решение:

$$\frac{\partial U(Q)}{\partial Q}-P(Q)-Q\frac{\partial P(Q)}{\partial Q}-(1+\lambda)MC(Q)+$$

$$+(1+\lambda)P(Q)+(1+\lambda)\frac{\partial P(Q)}{\partial Q}Q=0.$$

При условии $P(Q)=\frac{\partial U(Q)}{\partial Q}$ - решением будет

$$\frac{P-MC(Q)}{P}=\frac{\lambda}{1+\lambda}\frac{1}{\varepsilon},$$

где $\varepsilon=-\frac{\partial Q}{\partial P(Q)}\Big/\frac{Q}{P(Q)}$ — эластичность спроса на продукцию монополиста. Получили, что оптимальные цены связаны с предельными издержками, но превышают их, если фирма получает субсидии. Всему виной затраты, которые несет общество на предоставление субсидий, равные λ, которые только в случае совершенной конкуренции будут равны нулю.

Итак, потребитель платит цену, равную предельным издержкам, а потери фирмы покрывают субсидии. Может сложиться такая ситуация, когда функционирование данного предприятия в целом не будет выгодно для общества, то есть результирующее значение функции благосостояния общества (5) будет отрицательное, но государство будет все равно субсидировать фирму. В такой ситуации, если бы потребители сами несли затраты, то они бы отказались от этой продукции.

Кроме того, для фирмы, получающей субсидии, нет стимула к снижению затрат - все погасится государством. И даже наоборот возникает стремление к неоправданному их завышению.

В случае естественной монополии ценообразование по предельным издержкам менее эффективно в сравнении с ценообразованием, учитывающим полные затраты, несмотря на достижение «первого наилучшего решения». Вот почему способ редко используется на практике, и субсидии монополиям вообще запрещены.

Ценовая дискриминация.

В условиях монополии применение ценовой дискриминации является стратегией максимизации прибыли для фирмы и дает возможность эффективно распределять ресурсы среди потребителей. При этом фирма восстанавливает все издержки, не отталкивая тех потребителей, которые согласны платить только по ценам, равным предельным издержкам, то есть в этом смысле достигается «первое наилучшее решение». Нужно отказаться от линейного ценообразования и позволить монополисту продавать каждую единицу продукции по максимальной цене, которую готовы заплатить покупатели за эту единицу.

Если каждая единица каждого типа продукции оплачивается по своей индивидуальной цене, то фирма извлекает весь потребительский излишек в виде своего дохода. Это считается отрицательной стороной такого ценообразования, названного совершенной дискриминацией. Тогда нарушается принцип социальной справедливости, и не каждое государство пойдет на это.

Кроме совершенной ценовой дискриминации существует еще два типа дискриминации. Первый схож с совершенной, но предполагает разделение всех потребителей на несколько групп и проведение между ними различий по цене, при этом фирма сама не наблюдает четких различий между потребителями (эта информация для нее скрыта). Другой — дискриминация третьей степени — монополист с легкостью подразделяет потребителей на группы. В этом случае фирма может назначить наиболее высокую цену на рынке с низкой эластичностью, на рынке с высокой эластичностью цена будет близка к цене по предельным издержкам.

Максимизация общественного благосостояния будет совпадать с максимизацией прибыли монополиста, поэтому регулирующий орган может позволить фирме самой решать, сколько продукции производить.

$$\max_{Q}\{(U(Q)-C(Q)\},$$

Решением будет $\frac{\partial U(Q)}{\partial Q}=MC(Q)$. В левой части стоит полезность предельной единицы продукции, равная цене этой продукции, а в правой предельные издержки.

Объемы выпуска в этом случае такие же, как при ценообразовании по предельным издержкам. Монополия максимизирует свою прибыль без ограничений, поэтому име-

ет стимул не завышать издержки и действовать эффективно.

К сожалению, функционирование на рынке схемы ценообразования, связанного с ценовой дискриминацией, имеет и отрицательные черты:

1. Отсутствие у монополии полной информации о полезности каждой единицы продукции для каждого покупателя. Для фирмы процедура назначения разных цен для разных покупателей является дорогостоящей, так как в этом случае необходимо четко вычленять группы потребителей по интенсивности спроса.

2. При отсутствии существенных различий интенсивности спроса среди потребителей дискриминация также невозможна.

3. Возможность перепродаж продукции одними покупателями другим. Могут возникнуть вторичные рынки, где покупатели, купившие товар по низкой цене будут перепродавать его по более высокой. Тем самым подрывая основы всего механизма ценовой дискриминации.

В чистом виде ценовая дискриминация не применяется - слишком сложно ее осуществить, но элементы ее активно используются на многих монопольных рынках. В том числе в многоставочных тарифах, в плате за доступ и др. Идеи ценовой дискриминации связаны с ценами Рамсея.

Методы регулирования, приводящие ко «второму наилучшему решению».

Ценообразование по модели Рамсея.

Для однопродуктовой фирмы «второе наилучшее решение» - это равенство цен средним издержкам. Производитель не несет потери, нет сверхприбыли, выполнено бюджетное ограничение, нет субсидий и связанных с ними проблем. Этот подход наиболее часто используют на практике, в том числе в российских электроэнергетических компаниях.

Однако, если естественная монополия производит два и более продуктов, то к результату с нулевой прибылью могут привести многочисленные комбинации цен. Задача состоит в том, чтобы показать, какая из всех комбинаций цен, обеспечивающих нулевую прибыль, оптимальна с точки зрения общественного благосостояния. Цены, как и в однопродуктовой ситуации, должны превышать предельные издержки. Но какова величина оптимальных надбавок?

Рассмотрим многопродуктовую монополию, где производится n продуктов $Q=(Q_1,\ldots,Q_n)$, $C(Q)$ - функция издержек выпуска n продуктов, $U(Q)$ - функция полезности от потребления вектора выпуска Q, $MC_k(Q)=\frac{\partial C(Q)}{\partial Q_k} MC_к\ (Q)$ - предельные издержки производства товара k, обратная функция спроса для k-го продукта $P_k(Q)$.

Тогда задача максимизации общественного благосостояния при условии нулевой прибыли монополиста выглядит следующим образом:

$$\max_{Q_1\ldots Q_n}\left\{\left(U(Q)-\sum_i P_i(Q)Q_i\right)+\left(\sum_i P_i(Q)Q_i-C(Q)\right)\right\}; \quad (6)$$

$$C(Q)\le\sum_i P_i(Q)Q_i. \quad (7)$$

Находим решение, где λ - множитель Лагранжа:

$$\frac{P_k-MC_k}{P_k}=-\frac{\lambda}{(1+\lambda)}\sum_i\frac{\partial P_i(Q)}{\partial Q_k}\frac{Q_i}{P_k},$$

для каждого k-го продукта, если перекрестные эластичности равна нулю, то решение будет выглядеть следующим образом:

$$\frac{P_k-MC_k}{P_k}=-\frac{\lambda}{(1+\lambda)}\frac{1}{\varepsilon_k},$$

где ε_k — эластичность спроса на k-й продукт по цене. Выражение (8) называют правилом обратных эластичностей. Оно было сформулировано впервые французским исследователем Франком Рамсеем и носит его имя. Правило выглядит следующим образом [2]:

Цена выше для тех потребителей, у которых эластичность мала. Причем степень отклонения цен от предельных издержек определяется степенью жесткости бюджетного ограничения фирмы (коэффициент λ).

Его же можно сформулировать и по-другому:

Пусть известны оптимальные объемы выпуска всех продуктов монополии, то есть объемы, удовлетворяющие спрос, задаваемый ценами, равными предельным затратам. Это точка отсчета. По Рамсею: необходимо сокращать объемы выпуска всех продуктов в одинаковой пропорции до тех пор, пока общая выручка не сравняется с общими затратами.

Несмотря на то, что этот подход представляется достаточно разумным, его редко приме-

няют на практике. Это объясняется несколькими причинами.

Во-первых, регулирующему органу необходима подробная информация о спросе разных групп потребителей и функции издержек монополии. На практике ее трудно добыть.

Во-вторых, по правилу Рамсея цены выше должны быть у группы потребителей с более низкой эластичностью. Как правило, такая эластичность наблюдается у потребителей, у которых нет выбора в потреблении, и потребление услуга жизненно важная, от нее отказаться нельзя. В большинстве случаев — это низкооплачиваемые слои населения. Получается, что применение цен Рамсея изначально предполагает для более бедных слоев населения цены выше, чем для состоятельных людей. То есть нарушается правило социальной справедливости.

Избежать первой проблемы, связанной с ценами Рамсея помогает механизм Вогельсанга - Финсингера.

Механизм Вогелънсанга — Финсингера.

Используется динамический регуляторный механизм, под воздействием которого регулируемая фирма со временем меняет объемы выпуска так, чтобы в конце концов прийти к оптимальным по Рамсею ценам [5].

В этой схеме монополии позволено в любом периоде времени t максимизировать прибыль и устанавливать цены так, чтобы выполнялось ограничение

$$\sum_i P_i(Q^t)Q_i^{t-1} \le C(Q^{t-1}).$$

При решении задачи

$$\max_{Q_1^t \dots Q_n^t} \left\{ \sum_i P_i(Q^t)Q_i^t - C(Q^t) \right\},$$

где Q^t, Q^{t-1} - выпуск фирмы в периоды t,t-1, $C(Q^t)$, $C(Q^{t-1})$ - общие издержки фирмы в соответствующие периоды.

Решением этой задачи будет

$$\frac{P_k(Q^t) - MC_k(Q^t)}{P_k(Q^t)} = \mu \sum_i \frac{\partial P_i(Q^t)}{\partial Q_k^t} \frac{Q_i^{t-1}}{P_k(Q^t)} - \sum_i \frac{\partial P_i(Q^t)}{\partial Q_k^t} \frac{Q_i^t}{P_k(Q^t)}$$

для всех $k = \overline{1,n}$, μ - множитель Лагранжа.

При $Q^t = Q^{t-1}$, приходим к решению аналогичному решению в модели Рамсея:

$$\frac{P_k^t - MC_k^t}{P_k^t} = -(1-\mu)\frac{1}{\varepsilon_k^t} \text{ и } \sum_i P_i(Q^t)Q_i^t = C(Q^t).$$

Таким образом, монополия будет сама менять цены и объемы производства, приближаясь к устойчивому социально-оптимальному состоянию. И регулирующему органу не обязательно знать функции спроса, издержек, оптимальные цены. Однако на практике зачастую бывает сложно определить даже фактически имевшиеся издержки. Регулирующий орган полагается в основном на отчетность фирмы, в этом случае фирма заинтересована завышать реальные цифры, а завышение издержек приводит к более высоким ценам в следующем периоде. Существует опасность также целенаправленной растраты ресурсов, которая увеличивает издержки. Например, это можно сделать, покупая материалы по слишком высоким ценам или, создавая излишние мощности, и др.

Кроме того, если функция издержек не имеет свойства постоянно снижающихся средних издержек, то применение такой схемы может привести к убыткам фирмы. Также остается не ясным, как механизм будет адаптироваться к изменениям технологии, цен на ресурсы и др.

Тем не менее, такая схема вынуждает фирму-монополию двигаться ко «второму наилучшему решению», и, в конечном счете, работать эффективно для общества.

Механизм Вогельсанга — Финсингера может использоваться не только при обычных тарифах, но и при двухкомпонентных, включающих плату за доступ.

Двухкомпонентные тарифы и плата за доступ.

Фирма производит n товаров в количестве $Q = (Q_1, Q_2, \dots, Q_n)$ каждый товар i приобретается количеством покупателей m_i, $m = (m_1, \dots, m_n)$ - вектор числа покупателей, $C(Q, m)$ - функция издержек монополиста, $MC_k(Q,m) = \frac{\partial C(Q,m)}{\partial m_k}$ - предельные издержки производства товара k, $MC_k^a(Q,m) = \frac{\partial C(Q,m)}{\partial m_k}$ - предельные издержки доступа покупателей к приобретению товара k, $P_k(Q,m)$ - обратная функция спроса на товар k (его цена), $A_k(Q,m)$ - обратная функция спроса на право на доступ к товару k (плата за доступ),

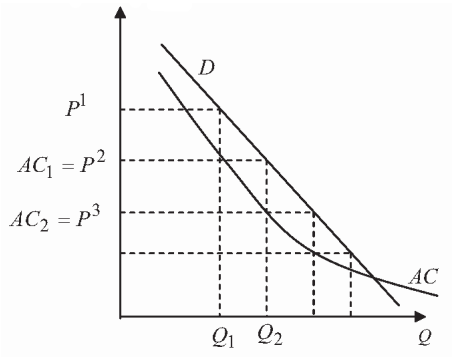


Рис. 3. Динамический регуляторный механизм Вогельсанга - Финсингера. Цены $P^1, P^2, P^3, \ldots$ сходятся к ценам Рамсея

$$\max_{Q_1,\ldots,Q_n\ m_1,\ldots,m_n}\left\{\left(S(Q,m)-\sum_i P_i(Q,m)Q_i-\sum_i A_i(Q,m)m_i\right)+\right.$$
$$\left.+\left(\sum_i P_i(Q,m)Q_i+\sum_i A_i(Q,m)m_i-C(Q,m)\right)\right\}. \quad (9)$$

$$C(Q,m)\le\sum_i P_i(Q,m)Q_i+\sum_i A_i(Q,m)m_i. \quad (10)$$

Решение: для оптимальных цен

$$\frac{P_k-MC_k}{P_k}=-\frac{\eta}{1+\eta}\left(\sum_i\frac{\partial P_i}{\partial Q_k}\frac{Q_i}{P_k}+\sum_i\frac{\partial A_i}{\partial Q_k}\frac{m_i}{P_k}\right)$$

для любого k. Для оптимальной платы за доступ

$$\frac{A_k-MC_k^a}{A_k}=-\frac{\eta}{1+\eta}\left(\sum_i\frac{\partial P_i}{\partial m_k}\frac{Q_i}{A_k}+\sum_i\frac{\partial A_i}{\partial m_k}\frac{m_i}{A_k}\right)$$

для любого k.

Задача (9)-(10) соответствует модели Рамсея (6)-(7) с включением в нее прав на доступ в виде отдельных товаров. В силу этого для таких схем также можно применять механизм Вогельсанга-Финсингера.

Аналогично (8), если перекрестная эластичность равна нулю, то

$$\frac{P_k-MC_k}{P_k}=\frac{\eta}{1+\eta}\left(\frac{1}{\varepsilon_k}+\frac{1}{\varepsilon_k^a}\frac{m_k}{P_k}\frac{A_k}{Q_k}\right),$$

$$\frac{A_l-MC_l^a}{A_l}=\frac{\eta}{1+\eta}\left(\frac{1}{\varepsilon_{A_l}}+\frac{1}{\varepsilon_{A_l}^{P_l}}\frac{P_l}{m_l}\frac{Q_l}{A_l}\right).$$

ε_k — эластичность спроса на товар k по цене продукции, ε_k^a — эластичность спроса на товар k по плате за доступ, ε_{A_l} — эластичность спроса на доступ к товару l по плате за доступ, $\varepsilon_{A_l}^{P_l}$ — эластичность спроса на доступ к товару l по цене на товар.

Если спрос на доступ у потребителя l фиксирован, а спрос на товар не фиксирован для потребителя k, то приходим к оптимальному решению:

$$\frac{P_k-MC_k}{P_k}=0. \quad (11)$$

Аналогично, если не фиксирован спрос на доступ для потребителя $k\neq l$, то

$$\frac{A_k-MC_k^a}{A_k}=0. \quad (12)$$

Если перед нами региональная энергетическая компания, то разные типы товаров фирмы - это электроэнергия для разных типов покупателей. Для каждого покупателя можно установить плату за доступ и цену единицы энергии. При этом считаем, что спрос разных групп населения не зависит между собой. Можно всегда выделить потребителей одного типа, количество которых будет постоянно. Тогда, действуя соответственно изложенной модели, необходимо назначить цены на уровне предельных затрат, а плата за доступ должна быть на уровне предельных затрат за доступ. Это правило будет действовать для всех потребителей, кроме выделенной группы с постоянным спросом. Для нее плата за доступ должна погашать общие издержки фирмы, конечно в разумном пределе, чтобы не потерять потребителей. Если такая ситуация достигнута, то ее можно считать оптимальной.

В общем случае, спрос на доступ может быть не фиксированным для всех товаров, тогда при повышении платы за доступ какие-то покупатели могут вовсе отказаться от этой продукции. Получится, что установление оптимальной платы для максимизации общественного благосостояния окажется неприемлемым для общества по социальным мотивам. Поэтому для такого рынка плата должна быть ограничена. При этом выражения (11) и (12) не работают, и оптимальные цены и платы за доступ будут больше предельных издержек.

Плата за доступ - такой вид товара, спрос на который мало эластичен, даже, можно сказать, близок к фиксированному. Поэтому установление платы на умеренном уровне не должно привести к отказу от потребления какой-либо из групп населения.

В подобных схемах существуют широкие возможности варьирования между выбором величины платы за доступ и ценой товара. Поэтому сейчас они приобретают все большую популярность.

Блочные тарифы.

В блочном тарифе цена единицы продукции меняется в зависимости от объема потреб-

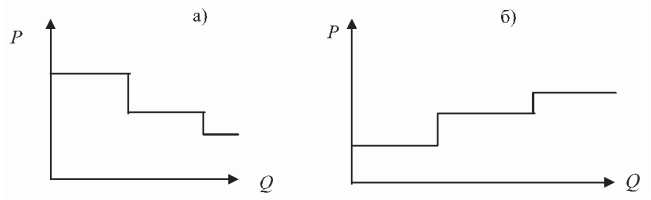


Рис. 4. Понижающийся (а) и повышающийся (б) блочные тарифы

ления. Существует два вида блочных тарифов: повышающиеся и понижающиеся по мере увеличения потребления [3].

Влияние блочных тарифов на достигаемое общественное благосостояние анализируется в теории регулирования аналогичным вышеизложенным способом. Пусть имеется тариф, состоящий из нескольких блоков, цена дополнительной единицы продукции меняется от блока к блоку, но постоянна внутри него. Задача оптимизации общественного благосостояния будет выглядеть как (6)-(7), при условии, что потребление продукции внутри каждого блока можно рассматривать как потребление отдельных товаров со своими ценами и взаимосвязанным спросом. Тогда оптимальные цены в блоках определятся в соответствии с моделью Рамсея: отклонения цен от предельных издержек в каждом блоке обратно пропорциональны эластичностям спроса на товар в данном блоке по своей цене и ценам в других блоках, если выполняется условие (7) покрытия всех издержек монополии.

Важное свойство блочных тарифов, оптимальных по Рамсею, состоит в том, что эластичность спроса на продукцию внутри любого блока k будет меньше эластичности внутри любого блока l, такого, что $k < l$. В соответствии с моделью Рамсея, чем меньше эластичность, тем выше оптимальная цена, значит оптимальным можно считать понижающийся блочный тариф.

Если потребление в первых k блоках фиксировано, и эластичность спроса равна нулю. Тогда по модели Рамсея цены в последующих блоках должны быть равны предельным издержкам фирмы (и равны между собой). А цены в первых k блоках должны покрывать все постоянные издержки монополии. При этом каждая дополнительная единица продукции продается по цене, равной предельным издержкам. То есть удалось достигнуть решения, которое уже невозможно улучшить, и его в некотором смысле можно считать «первым наилучшим решением».

На практике применяют блочные тарифы, включающие в себя плату за доступ. Все выводы для одноставочного тарифа будут работать и в этом случае. Для улучшения общественного благосостояния требуется также увеличивать количество блоков в тарифе. Однако число блоков во многоставочном тарифе никогда не бывает велико. Обычно их два или три. Большее количество блоков в тарифе резко увеличивает затраты и сложность его применения.

Следует заметить, что хотя оптимальным является понижающийся тариф, на практике зачастую можно встретить использование повышающегося блочного тарифа. Его применяют с целью более справедливого распределения благосостояния. В этом случае потребители с большим спросом платят больше за единицу, чем потребители с малым спросом. Здесь учитывается, что повышенный спрос предъявляют группы с большими доходами. Применение такого тарифа позволяет защитить малоимущие слои населения.

Заключение.

В последнее время многие отрасли, которые имеют естественно-монопольные сегменты, претерпевают существенные преобразования. В том числе электроэнергетическая, газовая, железнодорожная, телекоммуникационная, жилищно-коммунальная и др. Начались активные процессы дерегулирования, введения конкуренции, модернизации, внедрения новых форм регулирования. В России эти процессы идут полным ходом. Но полностью следовать зарубежному опыту, как уже не раз убеждались, в наших условиях нельзя. Там где возможно внедрение определенных видов конкуренции в естественно-монопольных отраслях в Европе и США, в России это сделать в полном объеме невозможно. Поэтому очень важна новая теория регулирования естественной монополии, которая бы смогла лечь в основу практических преобразований.

Выше изложены основы этой теории, позволяющие сделать следующие выводы об оптимальных тарифах (ценах).

1. **Тарифы должны быть разными для разных групп потребителей в зависимости от предельных издержек обслуживания этих групп и эластичности их спроса.** Число таких

групп должно быть как можно большим. Если у регулирующего органа стоит задача социальной защиты населения, то нельзя следовать принципу обратной эластичности, продиктованного ценами Рамсея.

2.**Тарифы для каждой группы потребителей должны быть блочными понижающимися многоставочными,** включать фиксированную плату за доступ к рынку. Число блоков в тарифе должно быть как можно большим. Цены внутри блока следует устанавливать соответственно эластичности и предельным издержкам. Для социальной защиты населения необходимо использовать повышающийся блочный тариф.

3.**Общий уровень тарифов должен позволять фирме покрывать свои издержки, включая нормальную прибыль.** Необходимо проводить периодические корректировки, отражающие изменения спроса и затрат производства.

4.Между пересмотрами тарифы могут меняться автоматически, исходя из заранее оговоренных экзогенных факторов. Для многопродуктового производства основным критерием ограничения тарифа может служить агрегированный показатель цен производимых продуктов. В этом случае монополист обладает некоторой свободой корректировки тарифов. Поэтому регулирующий орган должен ограничивать скорость ребалансировки цен производящей компанией.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Бен, В.Ф. Депортер *Регулирование естественной монополии.* — Сборник статей Центра повышения квалификации по праву и экономике. Университет Рента, 2002, 16 с.
2. Гальперин В.М., Игнатьев С.М., Моргунов В.И. *Микроэкономика: в 2-х томах.* Общая редакция Гальперина В.М., СПб.: Экономическая школа, 1999, Т.2, 503 с.
3. Королькова, Е.И. *Естественная монополии: регулирование и конкуренция.* — Экономический журнал ВШЭ, 2000, № 2, С.235-273.
4. Королькова, Е.И. *Тенденции в развитии теоретических подходов к регулированию естественных монополий.* — Экономический журнал ВШЭ. 1999, № 2, С.238-264.
5. Мишура, А.В. *Проблемы тарифной политики на региональном рынке электроэнергии.* Рукопись диссертации на соискание степени кандидата экономических наук, 2003. - 156 с.
6. Ж.. Тироль *Рынки и рыночная власть: теория организации промышленности:* В 2-х т. Пер. с англ. Гальперина В.М. и Зенкевича Н.А. Изд. 2-е испр, С-Пб: Экономическая школа, 2000. - 778 с.
7. С. Фишер, Р. Дорнбуш, Р. Шмалензи *Экономика:* Пер. с англ. М.: Дело, 1993, 829 с.
8. *Цены и ценообразование:* Учебник для вузов. 3-е изд. Под ред. В.Е.Есипова. СПб: Изд-во «Питер», 2000. - 464 с.

Лидин К.Л.

УДК 159.947.2

ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ ФИНАНСЫ И ЭКОНОМИКА ЭМОЦИЙ

14 марта 2008 года на ММВБ прошла Вторая Ежегодная Почетная Лекция Morgan Stanley, которую провел профессор Йельского университета и автор знаменитых книг Irrational Exuberance и New Financial Order Роберт Шиллер. Отмечая наличие сильнейшего финансового кризиса в глобальном масштабе, профессор отметил его связь с психологией масс. По мнению американского специалиста, современное состояние экономической теории характеризуется стремительным ростом интереса к социально-психологическим аспектам структуры финансовых потоков - к так называемым «поведенческим финансам». Данная тема особенно актуальна для тех стран, экономика которых испытывает быстрый рост (так называемая группа BRIC: Бразилия, Россия, Китай, Индия).

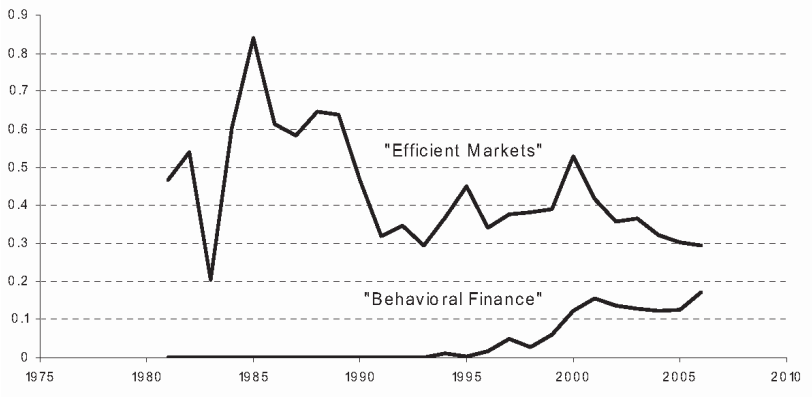


Рис. 1. Частота использования терминов «эффективность рынков» (efficient markets) и «поведенческие финансы» (behavioral finance) в специальной литературе [1]

Заметим, что в американском английском термин «behavioral» чаще всего понимается в широком смысле, близком к русскому понятию «человеческий фактор».

В течение последних нескольких десятилетий Нобелевская премия по экономике неоднократно вручалась за работы на пересечении собственно экономики с социологией, социальной психологией и психологией личности. Наиболее яркие примеры данной тенденции перечислены в табл. 1.

В целом история развития экономических учений демонстрирует явное тяготение к рациональному началу в моделях человека и его экономического поведения. Начиная с А. Смита человек предстает как «компетентный эгоист», стремящийся принимать экономические решения как можно более логическим и разумно обоснованным путем. Отступления от рационального принципа рассматриваются как досадные помехи, искажения «правильного» подхода к экономическим процессам, свидетельства несовершенства человеческой природы [2].

Однако объективный взгляд не может не отметить, что иррациональное экономическое поведение на всех уровнях является скорее правилом, относящимся к подавляющему большинству случаев, чем редким исключением.

Множество примеров того, как нелогичный оптимизм или пессимизм заставляли серьезных аналитиков делать неверные прогнозы, а крупных бизнесменов - терпеть миллиардные убытки, приводит профессор Ларс Твид. В качестве эпиграфа к своей книге он приводит слова Бернара Барука: «То, что регистрируют при колебаниях фондового рынка, не события, а человеческая реакция на эти события. Это предположение миллионов мужчин и женщин о том, как все происходящее

Таблица 1

Год	Лауреаты	Краткая суть работы
1974	Гуннар Мюрдаль, Фридрих фон Хайек	работы в области теории денег, конъюнктурных колебаний и анализа взаимозависимости экономических, социальных и структурных явлений
1978	Герберт Саймон	исследование структур и процессов принятия решений в экономических организмах
1985	Франко Модильяни	анализ поведения людей в отношении сбережений и за работу по вопросу о связи финансовой структуры компании с оценкой ее акций инвесторами
1992	Гэри Беккер	расширение области применения микроэкономического анализа к широкому кругу проблем человеческого поведения и взаимодействия, включая поведение вне рыночной сферы
1993	Дуглас Норт	экономические процессы в связи с историко-социальными изменениями
2002	Дэниэл Канеман	исследования закономерностей принятия инвестиционных решений в условиях неопределенности

повлияет на их будущее. Другими словами, фондовый рынок — это прежде всего люди».

Анализируя десятки примеров нерационального поведения людей, управляющих финансовыми потоками, Ларс Твид делает вывод: «Некоторые из психологических механизмов, создающих ценовые движения, рациональны и разумны. Другие — нелепы и абсурдны. Но, как мы видим снова и снова, они всегда появляются и продолжают существовать, пока акция торгуется на рынке» [3].

Существуют целые области современного рынка, в которых рассудочный аспект экономического поведения изначально играет второстепенную, служебную роль. Это области производства и распределения предметов роскоши, индустрия развлечений и так называемый рынок культурных ценностей - кино, театр, музыка и так далее. Совокупный объем финансовых потоков, протекающих через эти рынки, достигает порядка 10^{11} –10^{12} $/год, что сопоставимо с такими «рациональным» рынками, как торговля нефтью, металлами или недвижимостью [4]. По данным авторитетной аудиторской компании PricewaterhouseCoopers совокупный мировой оборот индустрии развлечений и СМИ в 2007 году превысил 1,5 трлн. долларов, а к 2011 году достигнет 2 трлн. [5]. В течение двадцатого века и по сегодняшний день «нерациональные» рынки растут опережающими темпами, что и дало основание Жану Бодрийяру для построения его знаменитой философии «рынка знаков» [6].

На наш взгляд, ключом к пониманию современных экономических структур является включение в сферу экономического анализа человеческих эмоций.

Стоимость эмоций достаточно велика. Так, покупая билет в кино за 100-500 рублей зритель фактически покупает возможность переживания ценных для него эмоций в течение полутора — двух часов. Таким образом, цена положительных эмоций на российском рынке развлечений оказывается равной 60-300 руб/час. Фактически стоимость эмоций даже выше, так как цена билета в кино включает цену риска, что фильм не понравится. Психологические эксперименты, проведенные нами на материале студентов ИрГУПС, ИрГТУ, ИГУ и некоторых новосибирских вузов показали, что средняя цена положительных эмоций составляет примерно 200 руб/час. Понятие положительной эмоции в данном случае носит экономический смысл: положительной следует считать ту эмоцию, за переживание которой покупатель согласен, в какой-либо форме, платить.

В течение ряда последних лет нами создано несколько методик, позволяющих объективно измерять характер эмоций, содержащихся в товарах «нерациональных рынков» - текстах, изображениях, кинофильмах, компьютерных играх и так далее. На обширном экспериментальном материале (проанализировано около 5000 объектов) мы убедились, что наиболее востребованными на современном рынке являются эмоции радости, гордости, интереса и близкие к ним. Заметно меньшим спросом пользуются эмоции гнева, агрессии, злорадства. Минимальный объем на рынке представлен эмоциями печали, тоски и особенно совести и стыда. Можно утверждать, что современный «рынок знаков» является почти полностью бесстыжим и бессовестным — в самом строгом смысле этого слова [8]. В целом асимметрия «рынка эмоций» выражается в преобладании стенических и хаотических состояний над астеническими и упорядоченными. Данный факт тесно связан с субъективными переживаниями рисков.

Известный историк и исследователь проблемы управления рисками Питер Бернстайн пишет: «Способность управлять риском и вместе с тем вкус к риску, к расчетливому выбору являются ключевыми элементами той энергии, которая обеспечивает прогресс экономики» [9]. Риск-менеджмент в сегодняшней экономике является одним из наиболее динамичных и многообещающих направлений.

В основе понятия риска лежит более широкое представление вероятности. Первый является частным случаем второго: риск есть вероятность неблагоприятного исхода.

Выделяют два метода определения вероятности.

Объективный метод определения вероятности основан на вычислении частоты, с которой происходят некоторые события. Частота при этом рассчитывается на основе фактических данных.

Субъективная вероятность является предположением относительно определенного результата, основывающемся на суждении или личном опыте оценивающего, а не на частоте, с которой подобный результат был получен в аналогичных условиях. Различная информация или различные воз-

можности оперирования с одной и той же информацией объясняют широкое варьирование субъективных вероятностей. Однако, несмотря на зависимость субъективной вероятности от «человеческого фактора», данный вид вероятностей поддается тем же операциям, которые приняты в классической теории вероятностей [10, 11].

Рассмотрим простейший случай нормального распределения случайной величины:

$$p(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right).$$

Количественно величина плотности вероятности определяется двумя постоянными — стандартным отклонением случайной величины σ и параметром смещения μ.

Рассмотрим теперь распределение субъективной вероятности той же величины в предположении, что формула Гаусса остается применимой и к данному случаю. Тогда форма уравнения не меняется, но вместо постоянных σ и μ, характеризующих объективную вероятность $p(x)$, мы введем константы σ_s и μ_s, относящиеся к субъективной вероятности $p_s(x)$.

Физическим смыслом константы μ_s будем полагать смещение математического ожидания случайной величины относительно наиболее желательного варианта. Наиболее желательным (аттрактивным) следует считать такой вариант распределения случайной величины, когда максимум плотности вероятности соответствует наиболее благоприятному варианту развития событий $x_{\text{аттрактивное}}$ (максимальной выгоде). В этом случае величина параметра смещения приобретает смысл меры соотношения пессимизма и оптимизма субъективной оценки вероятностной ситуации. Чем более пессимистичный характер носит субъективный взгляд на перспективы получения выгод, тем большее значение приобретает параметр μ_s.

Заметим, что субъективный пессимизм или оптимизм никак не соотносится с объективной вероятностью распределения случайной величины, а определяется в основном «рамочными» и другими психологическими эффектами экономического поведения.

Вторая константа уравнения Гаусса характеризует степень неопределенности распределения случайной величины. Величина, противоположная неопределенности — доверие — в некоторых случаях рассматривается как мера субъективной вероятности [12]. В терминологии теории информации неопределенность рассматривается как дефицит информации о состояниях системы, не позволяющий прогнозировать ее дальнейшее развитие. Информация, согласно классическому определению К. Шеннона, это снятая неопределенность [13]. Соответственно, с точки зрения «объективной» парадигмы, высокий уровень неопределенности является принципиальным барьером на пути принятия оптимальных решений [14].

С точки зрения психологии, мерой субъективной неопределенности является эмоциональное состояние тревожности и страха [15]. В таком понимании неопределенность не только не препятствует принятию решений, но в некоторых случаях даже стимулирует волю и решительность руководителя [16].

Начиная с эссе Даниила Бернулли «Основания для новой теории измерения риска», опубликованного в 1738 году [17], экономическая психология принимает аксиому об избегании неопределенности. Считается неизбежным и естественным, что подавляющее большинство людей стремится к определенности и бежит от хаоса.

Однако существование и глобальные масштабы игорного бизнеса заставляют подвергнуть сомнению аксиому Бернулли.

Предположим, что стремление к порядку (выглядевшее столь естественным в Швейцарии эпохи Просвещения) в повседневной реальности соседствует со стремлением к хаосу, неопределенности. Тогда мы должны наблюдать заметное количество людей, получающих удовольствие от переживания тревожности, неуверенности, азарта и прочих авантюристических эмоций. Для таких людей высокую ценность могут представлять эмоции, родственные страху - гнев, агрессия, смелость и храбрость, презрение и отвращение [18].

Хищные авантюристы составляют заметную часть бизнес-элиты во всем мире. Собираясь в коллективы, такие люди образуют своеобразный тип корпоративной культуры - мафиозный (предаторный, меримнический) [19].

В основном продажи данных эмоций реализуются в игорном бизнесе. «Последние несколько лет данный сектор экономики стремительно развивается. Как показывает статистика, количество игорных заведений за последние два года увеличилось в 3,5 раза, а количество игровых автоматов — более чем в 5 раз.

Только официальный доход только от игровых автоматов в России в 2005 году превысил 100 млрд. руб.» [20].

«144 млрд долларов достигнут обороты игорного бизнеса к 2011 году согласно прогнозу PricewaterhouseCoopers. В прошлом году оборот всех казино на планете составил 101,6 млрд долларов. Крупнейший рынок — Соединенные Штаты: в прошлом году через американские казино прошло более 57 млрд долларов. Ежегодно общемировой оборот казино растет в среднем на 7,2%. Быстрее всего — в Азиатско-Тихоокеанском регионе, в прошлом году он составил здесь 15,7%» [21].

Приведенные цифры показывают, что количество людей азартных и авантюристичных, воспринимающих страх в качестве положительной эмоции, достаточно велико. Данный факт особенно важен для анализа экономических структур в России. Дело в том, что фоновый уровень страха (тревожности) в нашей стране достаточно высок.

Для измерения уровня тревожности в текстах международных, российских и региональных СМИ нами была разработана оригинальная методика на базе частотного контент-анализа. Для обработки исходных текстов использовалась специальная компьютерная программа, что позволило исследовать значительные массивы исходной информации (около 500 тысяч слов).

Анализ показал, что уровень тревожности в публикациях зарубежных СМИ о России превышает нормальное значение. Однако, несмотря на значительные колебания в зависимости от текущей политической конъюнктуры, общий тренд динамики образа России переломился после 2005 года и сейчас демонстрирует устойчивое снижение — в среднем на 10% за год.

Аналогичным образом снижается уровень тревожности в публикациях наиболее массовых российских СМИ. В течение трех лет (с 2003 по 2005 год) общая тревожность текстов нарастала с постепенным замедлением. В начале 2006 года тенденция переломилась и уровень тревожности начал быстро снижаться (сплошная кривая на рисунке). Однако в целом тренд данного параметра за пять лет все еще демонстрирует возрастание (пунктирная прямая на рис. 2). Можно сказать, что общий уровень тревожности уже снижается, но все еще значительно превышает нормальное значение. Данное обстоятельство придает особое

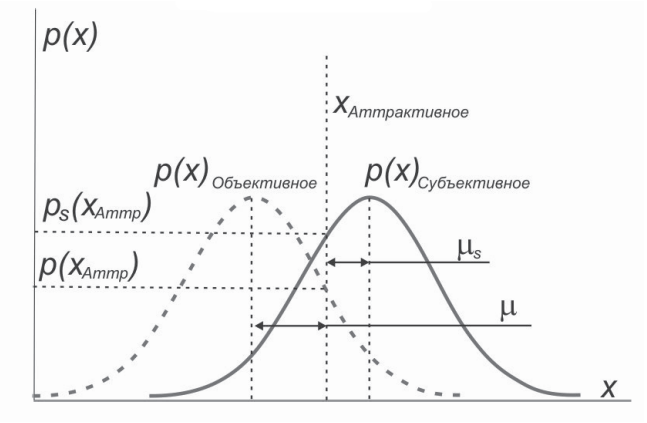


Рис. 2. Пунктиром обозначено объективное распределение плотности вероятности величины $p(x)$, сплошной линией - субъективное распределение. На рисунке приведен случай, когда объективное распределение смещено от аттрактивного сильнее, чем субъективное (μ_s больше μ , $x_{аттр}$) меньше, чем p_s ($x_{аттр}$) - точка зрения «субъективного оптимиста»

звучание перспективам развития игорного бизнеса в России.

Анализ современных рынков эмоций (поведенческих финансов) является необходимым элементом моделирования структуры финансовых потоков как в глобальном, так и в региональном масштабе. Характер и динамика эмоций, преобладающих в той или иной национальной или локальной культуре, имеет смысл учитывать в планировании развития экономики постиндустриального типа.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Robert J. Shiller. *The New Financial Order and the Current Financial Crisis.* New Economic School, Moscow, March 14, 2008, http://mif.nes.ru/texts/d/ /ShillerNESMoscow.ppt.
2. Автономов, В.С. *Модель человека в экономической науке / В.С. Автономов.* - СПб.: Экон. шк., 1998.
3. Твид, *Л. Психология финансов / Л. Твид.* - М.: ИК "Аналитика", 2002.
4. Долгий, *А. Экономика — это наука о редкости.* Интервью радио «Свобода» 13 июня. 2007г. СайтГУВШЭ, http://www.hse.ru/temp/2007/06_13_sergeev_dolgin.shtml.
5. PricewaterhouseCoopers. Global Entertainment and Media Outlook: 2007-2011 http://www.pwc.com/extweb/pwcpublicatio

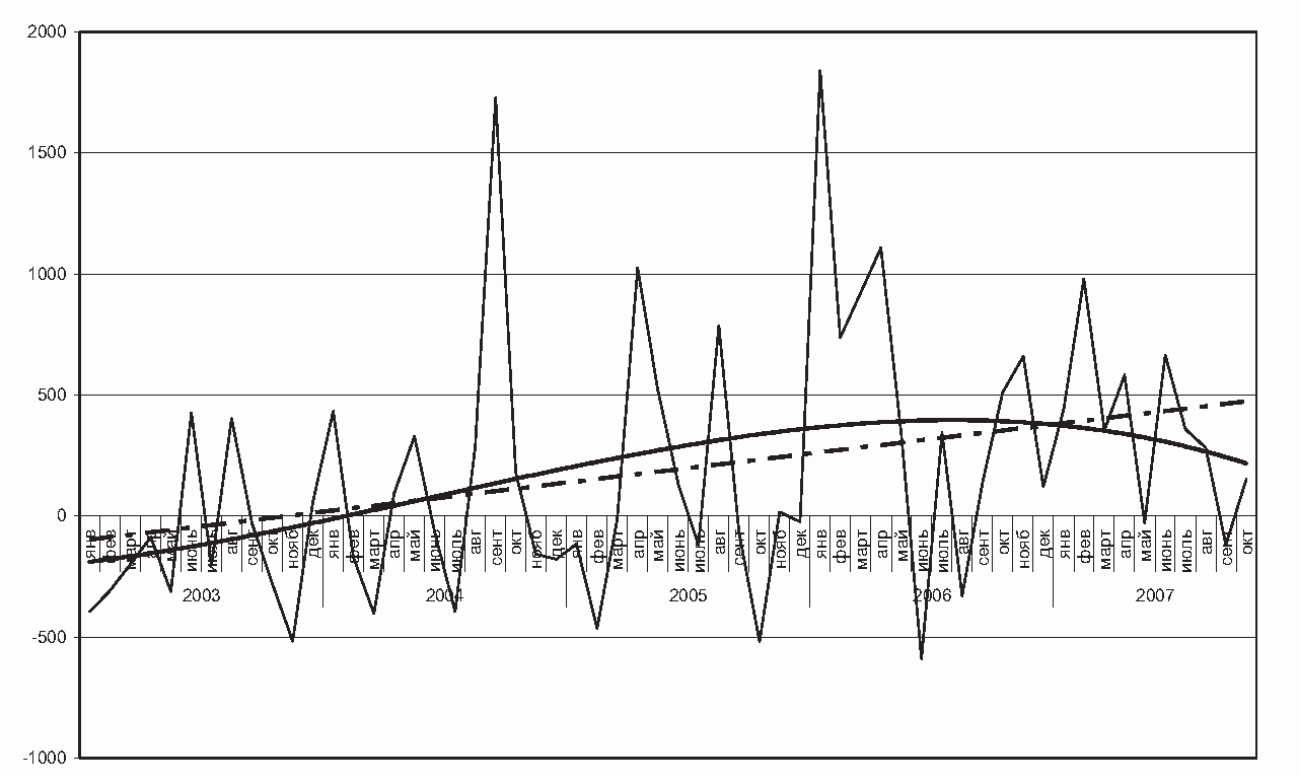


Рис. 3. Уровень тревожности (в условных баллах) в публикациях российских СМИ по данным частотного контент-анализа.

ns.nsf/docid/DDF0F6FECEC420998025738C002BDA29/$file/EM_outlook_2007-2011.pdf

6. Бодрийяр, *Ж. К критике политической экономии знака.* М.: Библион-Русская книга, 2003.
7. Лидин, *К.Л. Психологические механизмы воздействия образа на эмоциональную сферу личности.* Иркутск: РИЦ ИГУ, 2004.
8. Лидин, К.Л. Исчисление эмоций. — Равновесные модели экономики и энергетики: Труды Всероссийской конференции и секции Математической экономики XIII Байкальской международной школы-семинара «Методы оптимизации и их приложения». Иркутск: Изд-во ИСЭМ СО РАН, 2005, с. 83-89.
9. Бернстайн, *П. Против богов: Укрощение риска.* Пер. с англ. М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2000. - 428 с.
10. Грэхем Р. *Начала теории Рамсея.* М.: Мир, 1984. - 214 с.
11. Ramsey, The Foundations of Mathematics, London, Routlege and Kegan Paul, 1931,новое изд.: Littlefield, Adams (1960).
12. Наумов, Г.Е. Субъективная *вероятность: способы представления и методы получения / Наумов Г.Е. Подиновский В.В., Подиновский В.В.*— Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. 1991, № 5, с. 94 - 109.
13. Шеннон, К. *Работы по теории информации и кибернетике.* М.: Изд. иностр. лит., 1963.
14. Дж. Фон Нейман, О. Моргенштерн *Теория игр и экономическое поведение.* М.: Наука, 1970.
15. Хорни, *К. Тревожность.* Собр. соч. в 3 томах. М.: Смысл, 1997, Т.2, с. 174-180.
16. Лидин, *К.Л. Дорогостоящее избегание результата* — Мотивация и оплата труда, №3 (11), сентябрь 2007, с. 208-218.
17. D. Bernulli *Exposition of a new theory on the measurement of risk* — Econometrica, 1954, V. 22, p. 23-36.
18. Ильин, *Е.П. Эмоции и чувства.* 2-е издание. СПб: Питер, 2007.
19. Веблен, *Т. Теория праздного класса* - Вступ. ст. С.Г. Сорокиной. М.: Прогресс,1984.
20. Чижов, *С.В. Депутаты пересмотрят правила игры* — Российский Налоговый Курьер, №24, 2005, с. 12-13.
21. *Эксперт №24* (565)/25 июня 2007 http://www.expert.ru/printissues/expert/2007/24/news_week_news.

Хвощевский Г.И.

УДК 629.7 (571.53)(091)

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ ИРКУТСКОГО АВИАЦИОННОГО ЗАВОДА

Каждый раз, проходя по аллеям сквера, расположенного перед проходными Иркутского авиационного завода, невольно бросаешь взгляд на устремленный в небо сверхзвуковой истребитель ЯК-28 , что стоит на постаменте в честь трудовой славы иркутских авиастроителей. И любуясь этим строгим монументом, иногда с большой теплотой вспоминаешь увиденный в далеком детстве другой, самый первый монумент поселка с боевым самолетом времен Отечественной войны. Монумент был сооружен на территории заводского стадиона, на сохранившейся площадке перед нынешним плавательным бассейном «Кристалл», где в последние годы для детворы устраивают веселые новогодние елки. А боевым самолетом был легендарный пикирующий бомбардировщик ПЕ-2, который стоял на высоком серповидном постаменте и, согласно тексту на табличках, прикрепленных к постаменту, являлся символом Победы советского народа над фашистской Германией и милитаристской Японией. Монумент всегда вызывал восхищение своей удивительной торжественностью и, казалось, так украшал скромный рабочий поселок авиастроителей в первые послевоенные годы

Самолеты ПЕ-2 , любовно называемые в войсках «пешками» , на протяжении всей войны были основными боевыми машинами в составе советских фронтовых бомбардировщиков и в 1941-42 годах серийно выпускались на Иркутском авиационном заводе. Место вокруг монумента всегда было притягательным. Заводчане часто фотографировались на фоне монумента, однако любительские фотографии, запечатлевшие его в те далекие годы, тронуты временем и не отличаются качеством изображения. В музее истории авиационного завода хранятся довольно четкие фотоснимки того монумента, относящиеся, по видимому, к концу 40х - началу 50х годов, которые и воспроизведены в статье. На первом плане этих снимков в удачных ракурсах запечатлен сам монумент: на втором плане хорошо просматривается близлежащий поселковый пейзаж того времени.

Интересна и необычна история создания самолета ПЕ-2. Обратимся к историческим фактам. Накануне неотвратимо надвигающейся войны, военно- воздушные силы Красной Армии испытывали острый дефицит в бомбардировщиках, способных наносить высокоточные бомбовые удары с пикирова-

Рис. 1. Монумент с Як-28 в заводском сквере

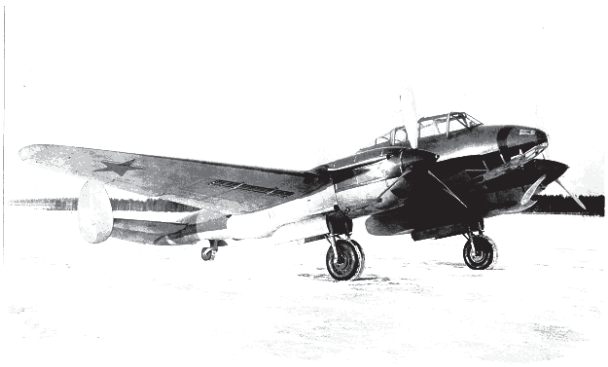


Рис. 2. Пе-2 на фронтовом аэродроме

ния по локальным целям: железнодорожным узлам, мостам, дотам, колоннам бронетехники на марше, артиллерийским батареям, другим объектам, и затем на высокой скорости уходить от истребителей противника. Для обычных «горизонтальных» (как их называли в отличие от пикирующих) бомбардировщиков такие задачи бомбометания были просто невыполнимы. Точность бомбометания зависела от высоты полета, условий видимости, квалификации экипажа. В любом случае, попадание в круг диаметром 200-300 метров считалось отличным результатом, доступным далеко не всем, даже в спокойной обстановке учебного полигона. В бою, под зенитным огнем и атаками истребителей противника, все становилось гораздо сложнее. Значительно более высокую точность бомбометания обеспечивали пикирующие бомбардировщики (1).

Наш потенциальный противник, каковым в те годы являлась Германия, уже имел практический опыт эффективного боевого применения пикирующих бомбардировщиков и, кроме того, наладил их массовое производство. Самым удачным самолетом в этом классе, принятым на вооружение авиационными соединениями Люфтваффе, считался «Юнкерс» Ju-87, который мог достигать точности бомбометания с пикирования плюс- минус 30 метров. Для поражения вышеупомянутых наземных целей - это великолепный показатель (2).

Главным конструктором одного из первых советских пикирующих бомбардировщиков ПЕ-2 стал Владимир Михайлович Петляков, ученик и ближайший помощник А.Н. Туполева. Он участвовал в создании практически всех туполевских машин, а в предвоенные годы руководил самостоятельным КБ. В те неспокойные времена многие работники авиационной промышленности были несправедливо оклеветаны, арестованы и находились в заключении. Вместе с тем им была предоставлена возможность продолжения работы по специальности в так называемых «шарашках». Это были созданные в системе НКВД различного рода специальные технические и конструкторские бюро, в которых, в статусе заключенных, трудились крупные ученые, конструкторы, инженеры и другие специалисты, решая в основном проблемы оборонного характера. Не избежали этой участи и конструкторы авиационной техники. В 1937 году был арестован А.Н. Туполев, несколько позднее - В.М. Петляков, В.М. Мясищев и другие известные конструкторы туполевской школы. В августе 1938 года в системе были созданы конструкторские группы по самолетостроению, обьединенные в Спецтехотдел (СТО) под общим руководством А.Н. Туполева. Среди них — бригады В.М. Петлякова, В.М. Мясищева. В таких условиях начинал самостоятельную работу В.М. Петляков над проектами своих первых самолетов. В течение короткого периода в возглавляемом им коллективе был создан двухмоторный высотный истребитель дальнего действия ВИ-100 (аббревиатура СТО заменена цифрами), опытный образец которого был успешно испытан в апреле 1940 года и даже принимал участие в первомайском воздушном параде над Красной площадью. Однако этот уникальный истребитель оказался невостребованным, а Петлякову было поручено в предельно жесткий полуторамесячный срок, переделать истребитель ВИ-100 в пикирующий бомбардировщик, который бы обладал высокой скоростью, мощным вооружением и достаточной бомбовой нагрузкой. Коллектив КБ успешно справился с этой непростой для столь короткого времени задачей и в июне 1940 года чертежи требуемого бомбардировщика с индексом ПБ-100, получившего в дальнейшем наименование ПЕ-2 (по начальным буквам фамилии конструктора), после ускоренных испытаний были переданы в производство. Работы по серийному изготовлению были развернуты на московских заводах №№ 22 и 39, а также на заводе № 124 в Казани. Первые два самолета поступили в авиационные части в конце 1940 года. Напряженная и принесшая ожидаемые результаты работа над созданием ПЕ-2 была по достоинству оценена правительством страны. Петлякова освободили из заключения, кроме того, в начале 1941 года ему была присуждена Сталинская премия. К началу Великой Отечественной войны советские ВВС имели в своем составе 458 пикирующих бомбардировщиков ПЕ-2 (3).

Принятый к серийному производству пикирующий бомбардировщик ПЕ-2 образца 1940-41 года в общем виде представлял собой цельнометаллический свободнонесущий низкоплан, с размахом крыла 17,60 м., длиной фюзеляжа 12,60 м., с двухкилевым вертикальным оперением в виде концевых шайб. Фюзеляж сигарообразной формы, круглого поперечного сечения. В носовой его части находилась остекленная плоская поверхность

для обеспечения нижнего обзора. Шасси самолета — убирающееся, трехопорное. Его главные колеса с двухстоечной амортизацией убирались в мотогондолы, а хвостовое колесо в фюзеляж. Самолет оснащался двумя двигателями М-105 жидкостного охлаждения конструкции В.Я. Климова с трехлопастными металлическими винтами изменяемого шага и взлетной мощностью 1100 л.с. Топливные баки - мягкие протектированные, помещались в фюзеляже, центроплане и консолях крыла. Экипаж состоял из трех человек: летчика, штурмана и стрелка- радиста. Летчика был защищен бронеспинкой толщиной 9 мм. Скорость полета составляла 515 км / час, максимальный потолок — 8800 м, дальность полета 1250 км. Для обороны самолет имел стрелковое вооружение, состоящее из пяти пулеметов ШКАС (Шпитальный, Комарницкий, авиационный, скорострельный), калибром 7,62 мм. и скорострельностью -1800 выстрелов в минуту: из них два неподвижных находились в носовой части, огонь из которых вел летчик, один у штурмана и два у стрелка — радиста для ведения огня сзади. Для этого один пулемет располагался за крылом в люковой установке, второй перекладывался с борта на борт. Максимальная бомбовая нагрузка составляла до 1500 кг. Бомбы ФАБ-100 размещались в центральной части фюзеляжа и в небольших отсеках хвостовой части мотогондол, а ФАБ-250- на внешней подвеске. Причем в пикирующем режиме бомбы могли сбрасываться только с внешней подвески. В оборудовании и управлении агрегатами самолета ПЕ-2 широко применялась электротехника. В нем было до 50 электродвигателей, что в то время являлось новшеством для отечественных самолетов такого класса (4).

Приказ Наркомата авиационной промышленности о постановке на серийное производство пикирующих бомбардировщиков ПЕ-2, на Иркутский авиационный завод № 125 имени Сталина поступил в январе 1941 года. К началу войны завод находился в стадии технического перевооружения и освоения непростой технологии изготовления ПЕ-2 . После 22 июня ситуация стремительно изменяется. В первый же день войны Германия нанесла существенный урон советским вооруженным силам. Потери только в авиации по разным причинам составили 1811 самолетов, из них 1489 были уничтожены на аэродромах базирования. Немецкие потери в тот день составили лишь 35 сбитых и около 100 поврежденных самолетов (5). И уже в июле наша армия потеряла более половины всех самолетов, причем из лучших, наиболее боеспособных частей ВВС. Утрата значительной части самолетов сразу же сказалась на боевых действиях войск Красной Армии. Наносить бомбовые удары по стремительно наступающим моторизованным дивизиям вермахта практически было нечем. В то трагическое время перед Иркутским авиационным заводом ставится задача резкого увеличения выпуска так необходимых фронту самолетов ПЕ-2. Коллектив мобилизует все силы, все резервы производства для достижения этой цели. Рабочий день на заводе удлиняется до 12 часов с одним часовым обеденным перерывом, устанавливаются два выходных дня в месяц. Работа идет круглосуточно, в две смены. Предоставление очередных отпусков прекращается, а находящиеся в отпусках срочно отзываются на работу. Специалисты завода и рабочие, начиная от 5 квалификационного разряда, получают «бронь»: так называлось освобождение от призыва в действующую армию. Объявляется дополнительный набор рабочих и служащих.

Увеличение программы выпуска самолетов потребовало значительного прироста производственных мощностей. В этой ситуации СНК СССР уже в конце июня принимает решение, согласно которому заводу № 125 полностью передается танкоремонтный завод № 104 Наркомата обороны, который был построен в нашем поселке практически одновременно с авиационным заводом. В новом качестве, с учетом удаленности его территории от основного производства, танкоремонтный завод становится филиалом авиационного завода под названием «объект № 4 ». Здесь немедленно разворачивают заготовительное производство. Для ускорения внутризаводского грузооборота обе территории вскоре соединяют железнодорожной веткой. А в начале июля выходит приказ Наркомата авиапромышленности о присоединении Улан -Удэнского авиационного завода № 99 к иркутскому заводу в качестве еще одного филиала. Здесь организовали производство крупных агрегатов для ПЕ-2, в основном хвостовые части фюзеляжей и, частично, оперение. В таком расширенном составе иркутский авиазавод приступил к выпуску ПЕ-2. Первые фюзеляжи для них поставлял по кооперации

московский завод № 39, кроме того, для ускорения производства самолетов, этот завод передал в Иркутск в качестве образца одну из своих серийных машин. Головной серийный ПЕ-2 был сдан по сборке и передан на летные испытания в ЛИС в июле 1941 года.

В катастрофические для Москвы октябрьские дни 1941 года Советом по эвакуации, возглавляемым Л.М. Кагановичем, принимается решение о вывозе из Москвы предприятий оборонной промышленности, в том числе авиационных заводов. Из подмосковных Филей в Казань эвакуируется завод № 22 и объединяется с заводом № 124. Вскоре сюда прибывает КБ главного конструктора В.М. Петлякова и этот объединенный завод становится базовым по выпуску ПЕ-2. А в Иркутск эвакуируется старейший в России, увенчанный орденами Ленина и Трудового Красного Знамени авиационный завод № 39 имени Менжинского. В ту промозглую сибирскую осень ведется напряженная круглосуточная работа по приему и размещению прибывающего из Москвы демонтированного заводского оборудования и материальных грузов, решается острейшая проблема расселения людей. Численность прибывшего московского персонала вместе с членами семей составляла 17 тысяч человек. В небольшом заводском поселке, который в сентябре уже принял эвакуированную в полном составе обувную фабрику из Днепропетровска, с большим трудом разместили только две тысячи москвичей; еще одну тысячу отправили в Улан- Удэнский филиал завода. Остальные были расселены в центральных районах Иркутска, где произвели грандиозное «уплотнение» и без того стесненных в жилье местных жителей. Ведь согласно плану Совета по эвакуации, кроме авиационного завода, в Иркутск и некоторые города области были вывезены более 20 крупных промышленных предприятий, около 10 трестов и сырьевых баз (6). В то время наш город не имел своего общественного автотранспорта и с Ленинским районом был связан железной дорогой. Для доставки работающих на завод с центрального железнодорожного вокзала Иркутска отходили по специальному графику пригородные поезда на паровозной тяге, называемые в то время «передачами». Некоторое время иркутский и московский заводы работали параллельно, каждый со своей программой и службами. Приказом Наркомата авиационной промышленности от 8 декабря 1941 года объявляется официальное объединение двух заводов и с 19 декабря - это одно предприятие. После слияния единый завод получил наименование «Дважды орденоносный ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени авиационный завод № 39» А пренебречь именем И.В. Сталина в наименовании объединенного завода, оставив имя чекиста В.Р. Менжинского, в то время не могло быть и речи. Объединение заводов в одно предприятие позволило значительно увеличить его производственные мощности, повысить технический потенциал. Количество работающих возросло более чем вдвое. К январю 1942 года на заводе насчитывалось 16879 человек, причем основной прирост составили высококвалифицированные кадры прибывших москвичей. В этом месте хочется сделать небольшое отступление. Произошло объединение Иркутского авиационного завода с прославленным московским заводом, на знамени которого красовались чрезвычайно редкие тогда государственные награды- знаки высочайшего признания трудовых достижений в области отечественного самолетостроения. Одновременно с новым номером иркутяне унаследовали передовую для того времени производственно-техническую базу, наработанные авиационные технологии, инженерный интеллект, наконец, историю, трудовую славу и награды московского завода. И уже 65 лет на знамени Иркутского завода блестят те довоенные московские ордена. Их дополняет не менее почетный орден Октябрьской Революции, которым в 1976 году отмечены трудовые успехи иркутских авиастроителей. Вместе с тем непростая биография московского завода, представляющая несомненный интерес, в мемуарных публикациях практически не освещается: чаще упоминается лишь события, связанные с эвакуацией завода в Сибирь и объединением с иркутским заводом. В этой связи становится очевидным, что исторический путь Иркутского авиационного завода необходимо рассматривать в контексте продолжения биографии московского авиационного завода № 39.

Всего до конца 1941 года уже объединенным заводом № 39 было построено 196 самолетов ПЕ-2, из них 144- бывшим заводом № 125. Параллельно с бомбардировщиком ПЕ-2, завод развернул его производство в варианте тяжелого истребителя ПЕ-3, с несколькими последующими модификациями. По

сравнению с базовым бомбардировщиком, экипаж ПЕ-3 состоял из двух человек- летчика и штурмана, который одновременно выполнял функции стрелка-радиста. Объем топливных баков увеличился до 700 литров, что позволило увеличить дальность полета до 2000 км. Стрелковое вооружение ПЕ-3 состояло из двух крупнокалиберных пулеметов БК, установленных асимметрично- оба по правому борту, а также двух пулеметов ШКАС: один подвижный у штурмана и второй, стационарный, в хвостовом конусе фюзеляжа. Масса бомб ПЕ-3 в перегрузочном варианте достигала 700 кг. Вариант истребителя ПЕ-3бис выпускался без остекления носовой части фюзеляжа и имел усиленное стрелковое вооружение. В декабре 1941 года в Иркутске построили 35 истребителей ПЕ-3, в 1942 году- 121 истребитель (7).

Январь 1942 года начался с трагедии. Главный конструктор КБ Петляков В.М, находившийся на авиазаводе в Казани, по срочному вызову правительства вылетел в Москву. Над деревней Мамешево, близ Арзамаса, самолет потерпел катастрофу, в которой Владимир Михайлович погиб. Трагедия опечалена еще и тем, что летел Петляков на самолете ПЕ-2, перегонявшимся с авиазавода на фронт. Было ему тогда немногим более пятидесяти лет.

Официальную версию причины той авиакатастрофы связывают с возникшей неисправностью в работе электрооборудования самолета и последующим пожаром во время его полета. Последними исследованиями долгое время засекреченных материалов по катастрофе, эта версия опровергается, однако истинная причина пока не называется. Некоторые эксперты склоняются к тому, что самолет с Петляковым попал под огонь наших зениток, охранявших воздушное пространство на подступах к крупному промышленному центру, каковым являлся город Горький. Только в 2006 году, накануне очередной годовщины Великой Победы, выдающемуся авиаконструктору, создателю знаменитого самолета ПЕ-2 Владимиру Михайловичу Петлякову на месте его гибели установлен долгожданный памятник. Через некоторое время главным конструктором по серийному производству и модификациям ПЕ-2 был назначен Владимир Михайлович Мясищев, ставший впоследствии известным авиаконструктором тяжелых боевых машин.

В тяжелейшем 1942 году немецкие войска вновь успешно наступают на всех фронтах. Потребности Красной Армии в самолетах еще более возросли. На этот год заводу спускают план по выпуску 587 самолетов ПЕ-2. Руководящий состав всех цехов и отделов с января переводится на казарменное положение. Ужесточаются требования к дисциплине. Уход с завода разрешается только на обеденный перерыв. Опоздания на работу грозят крупным штрафом или судом. «Все для фронта, все для Победы»- этому призыву подчиняется вся трудовая деятельность завода. Часто при выполнении повышенных сменных заданий люди ночуют на рабочих местах. Выпуск машин происходит в условиях ежедневной строгой отчетности перед Наркоматом авиационной промышленности , нередко директор завода отчитывается лично перед И.В. Сталиным . В январе было построено 87 самолетов с темпом выпуска сначала два самолета в сутки, начиная с 5 января -три, а к концу января выпуск возрос до пяти самолетов в сутки. Из-за дефицита горюче-смазочных материалов, которых едва хватало даже для облета, готовые самолеты отправляли ближе к местам боевых действий по железной дороге. На ПЕ-2 демонтировали крылья, переднюю часть фюзеляжа, хвостовое оперение, снимали капоты, мотогондолы, двигатели, шасси. Отстыкованные агрегаты консервировали, крепили в рамах, контейнерах, грузили на платформы. Двигатели помещали в крытые вагоны. Эшелоны отправлялись 2-3 раза в неделю. Это были авральные дни, поскольку рабочие, занятые на демонтажных и погрузочных работах выполняли их сверхурочно, в ночное время, и не освобождались от своей основной работы, на которую должны были явиться по утреннему заводскому гудку. Сборка и передача самолетов летчикам фронтовых частей производилась специальной заводской бригадой в подмосковном городе Балашиха. Кроме того, заводом была сформирована еще одна подвижная бригада, которая осуществляла ремонт поврежденных в воздушных боях самолетов непосредственно в воинских частях на прифронтовых аэродромах .

Весь период изготовления ПЕ-2 на заводе работал заместитель главного конструктора Полонский В.М., руководивший группой инженеров КБ. Они вносили изменения в конструкцию самолетов по результатам их боевого применения, а также по замечаниям фронтовых летчиков. Первым изменениям

подверглись бортовое вооружение самолета и защита экипажа. Часть пулеметов ШКАС заменили на более эффективные крупнокалиберные УБ (Универсальный Березина) , по огневой мощи не уступающие немецким авиапушкам. Была увеличена толщина бронеспинки у летчика, прикрыт бронеспинкой штурман. Вместе с тем самым уязвимым из членов экипажа оставался стрелок-радист: вопрос его кардинальной защиты решить не удавалось. Ряд деталей из алюминиевых сплавов перевели на изготовление из дельтадревесины. Была прекращена отделочная покраска самолетов, оставалась только камуфляжная. На поздних сериях устанавливали авиационные пушки ШВАК (Шпитальный, Владимиров, авиационная крупнокалиберная) калибром 20 мм. и скорострельностью 800 выстрелов в минуту, а также более мощные двигатели М- 105РА.

Последний бомбардировщик ПЕ-2 выкатили из сборочного цеха 22 августа 1942 года. Завод перешел к срочному освоению нового бомбардировщика ИЛ-4., способного наносить бомбовые удары в глубоком тылу противника. А ПЕ-2 продолжали выпускать на заводе № 22 в Казани. Всего авиазаводами было произведено 11,5 тысяч экземпляров этих боевых машин и их вариантов.

На всем протяжении войны фронтовые пикирующие бомбардировщики ПЕ-2 вели активные боевые действия. Большое количество этих самолетов постоянно находились в зоне боевых действий и наносили бомбовые удары по тактическим целям в интересах наземных войск. Практически не было крупных военных операций, в которых не принимали бы участия авиационные соединения, вооруженные самолетами ПЕ-2. В своих мемуарах немецкие летчики признавались, что ПЕ-2 непросто было сбивать. Их сильное оборонительное вооружение заставляло немецкие истребители при атаке использовать мертвое пространство, оттеняемое хвостовым оперением или атаковать сверху, сбоку. Атака со стороны хвоста была невозможна. Истребители прежде всего стремились подавить заднюю оборонительную стрелковую точку, а затем вели огонь по двигателям, пытаясь поджечь их, так как остальные части самолета были устойчивы к воспламенению (8).

Самолеты ПЕ-2 находились на вооружении до конца 40х годов, в основном, в частях морской авиации. После войны самолеты поставлялись в Чехословакию, Польшу, Югославию.

Мое послевоенное детство проходило в Соцгородке заводского поселка, в Бородинском (ныне Пулковском) переулке, в нескольких шагах от стадиона, где был установлен монумент, и наша дружная мальчишеская компания часто проводила там время. Вспоминается, как вездесущие послевоенные пацаны, что были постарше, прорыли ход под фундаментом стального постамента и по скобам, приваренным внутри его, поднимались в ПЕ-2, устраивая там свои виртуальные игры «в войну». Монумент простоял недолго. К началу 50х годов он как- то потускнел, на постаменте появились ржавые пятна, окружающая его территория потеряла былую привлекательность и стояла неухоженной. Где-то в те же годы, в пору тотального засекречивания всех промышленных объектов оборонного значения, монумент был убран. Вспоминается, как в один из летних вечеров, при большом стечении народа, самолет зацепили тросом за носовую часть, потянули трактором и, ... ПЕ-2 совершил свой последний пикирующий полет, упав в кусты акации. Тотчас объявились «умельцы» с кусачками, отвертками, и принялись что-то отвинчивать и выламывать из покореженного самолета. Несколько позже разрезали и увезли постамент. Жаль, самолет мог быть прекрасным историческим экспонатом для созданного ныне музея авиации завода под открытым небом. Однако в то время об этом как-то не думали.

В нашем семейном альбоме бережно хранится фотография 1947 года, на которой мой счастливо улыбающийся отец, мастер механического цеха авиационного завода, и я, пятилетний мальчишка, в коротких штанишках на лямочках , запечатлены на фоне того незабываемого монумента. Отец много рассказывал о своей работе на заводе в военное и послевоенное время, о первых боевых реактивных самолетах , которые в конце сороковых годов воспринимались заводскими мальчишками как некое чудо, а оглушительный шум реактивных двигателей будоражил мальчишеское воображение.

А 60-х годах мне, уже как авиационному инженеру, пришлось участвовать в изготовлении своих первых самолетов - сверхзвуковых истребителей ЯК-28 , один из которых и установлен на постаменте в заводском сквере.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Солонин, М. 22 июня, или Когда началась Великая Отечественная война? [Текст] / М. Солонин. — М. : Яуза : Эксмо, 2006. — 161с. — (Великая Отечественная : Неизвестная война).
2. Там же. — С. 162.
3. Валуев, Н. След в небе. История Иркутского авиационного завода от Антонова до Яковлева [Текст] / Н. Валуев. — [Б. м.] : Издательский дом «Интервестник», 2004. — 86 с.
4. Шавров, В. Б. История конструкций самолетов в СССР : 1936-1950 гг. [Текст] / В. Б. Шавров. — М. : Машиностроение, 1978. — 154 с.
5. Емельянов, Ю. В. Сталин: на вершине власти [Текст] / Ю. В. Емельянов. — М. : Вече, 2003. — 217 с.
6. Иркутск в панораме веков [Текст] : очерки истории города / под ред. О. Е. Арбатской, Т. В. Кулешо. — Иркутск : Вост. — Сиб. издат. компания, 2003. — 377 с.
7. Костырченко, Г. В. От Главкоавио ВСНХ до Наркомата авиационной промышленности [Текст] / Г. В. Костырченко // Вестник авиации и космонавтики». — 1997. — № 5—6. — С. 50—51.
8. Швабедиссен, В. Сталинские соколы: анализ действий советской авиации 1941-45 гг. [Текст] / В. Швабедиссен. — Минск : Харвест, 2001. — [176 с.].

КОНФЕРЕНЦИЯ И ВЫСТАВКА «ТРАНСЖАТ-2008»

В г. Сочи с 21 по 24 октября 2008 года прошла четвертая международная научно-практическая конференция «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте» (ТрансЖАТ-2008). В работе конференции приняли участие более 800 специалистов. Это были представители хозяйства автоматики и телемеханики железных дорог ОАО «РЖД», Казахстана, Украины, Белоруссии, стран Балтии; работники из институтов ВНИИАС, ВНИИЖТ и транспортных университетов, разработчики и изготовители изделий и систем ЖАТ, специалисты из проектных и строительно-монтажных организаций. Из дальнего зарубежья с докладами выступили представители фирм и компаний «Siemens», «Alston Transport», «Thales», «Bombardier Transportation Sweden AB» (Гетеборг), «Fraucsher», «Желсис» (Прага). К конференции была приурочена выставка новейших разработок в области железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ), которые представили более 200 разработчиков и 30 производителей устройств, систем и кабельной продукции.

В приветственном слове к участникам конференции президент ОАО «РЖД» В.И. Якунин отметил, что средства железнодорожной автоматики и телемеханики являются ключевым элементом в масштабном расформировании железнодорожного транспорта, в наращивании объемов грузоперевозок, в улучшении качества и безопасности перевозки пассажиров.

Тематика работы конференции — это техническое обслуживание и ремонт средств ЖАТ на основе внедрения новых технологий и применения современных технологических средств; это создание и внедрение новых устройств и систем ЖАТ; это обновление и модернизация технологических средств ЖАТ; это проблемы качества.

Научным консультантом секции №1 «Техническое обслуживание и ремонт средств ЖАТ на основе внедрения новых технологий и технологических средств» был заведующий кафедрой «Автоматика и телемеханика» ИрГУПС, доктор технических наук, профессор Шаманов В.И.

Основной задачей в настоящий период признана необходимость подъема устройств и систем ЖАТ на качественно новый уровень. Уже сейчас устройствами ЖАТ на микропроцессорной элементной базе оборудовано 168 станций, 4607 централизованных стрелок, 49 перегонов, 505,9 км с автоблокировкой. Тем не менее проблема увеличения объемов обновления средств ЖАТ на микропроцессорной элементной базе, дополненных средствами диагностики и обеспечивающих автоматизацию технологических процессов, остается крайне актуальной. Внедрение таких систем позволит обеспечить достаточную надежность технических средств, повысить уровень безопасности движения поездов, а также оптимизировать численность персонала, занятого техническим обслуживанием объектов инфраструктуры.

На конференции с докладами по запатентованным способам и устройствам для контроля и диагностики состояния эксплуатируемых технических средств ЖАТ выступили зав. кафедрой АТ ИрГУПС, доктор технических наук, профессор В.И. Шаманов и первый заместитель директора Красноярского института железнодорожного транспорта, кандидат технических наук В.П. Суров.

В целом по результатам работы конференции и выставки «Транс ЖАТ-2008» намечены конкретные пути решения задач, стоящих перед компанией и хозяйством автоматики и телемеханики, что будет способствовать повышению конкурентоспособности российских систем ЖАТ на международном рынке.

Редколлегия

НОВЫЕ УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ

Краковский Ю.М.

К13 **Информационная безопасность и защита информации**: Учебное пособие. — М.: ИКЦ «МарТ», Ростов н/Д: Издательский центр «Март», 2008. — 288 с. (Серия «Учебный курс»).

Рассмотрены основные разделы дисциплины «Информационная безопасность и защита информации», содержащие описание объекта защиты, классификацию угроз и методов защиты информации. Значительное место уделено методам криптографии и техническим методам защиты информации.

Дополнительно пособие содержит пять приложений, в одном из которых приведены шесть лабораторных работ.

Данная дисциплина входит в ГОС высшего профессионального образования по специальностям: «Информационные системы в технологиях», «Прикладная информатика (по областям)», «Документоведение и документационное обеспечение управления».

Рекомендуется студентам и магистрантам различных форм обучения, изучающих дисциплину «Информационная безопасность и защита информации», а также специалистам в области информационной безопасности.

ISBN 978-5-241-00925-8 ББК 67.408

Рекомендовано Сибирским региональным учебно-методическим центром высшего профессионального образования для межвузовского использования в качестве учебного пособия для студентов специальностей: «Информационные системы в технологиях» дневной и заочной форм обучения.

Оглавление

Введение
Глава 1. Введение в безопасность информационных систем
1.1. Информационная безопасность и безопасность информации
1.2. Необходимость обеспечения безопасности информационных систем
1.3. Понятие "защищенная система"
1.4. Нормативно-правовые основы информационной безопасности
1.5. Организационное обеспечение информационной безопасности
1.6. Анализ формальных моделей безопасности
Глава 2. Угрозы безопасности информационных систем и их реализация
2.1 Характеристика угроз безопасности информации
2.2. Характеристика и классификация атак
2.3. Классификация изъянов защиты
2.4. Виды и источники угроз информационной безопасности РФ
2.5. Компьютерные вирусы
Глава 3. Криптографические системы защиты информации
3.1. Основные понятия криптографии
3.2. Характеристика докомпьютерных криптосистем
3.2.1. Блочные одноключевые шифры
3.2.2. Шифры поточного шифрования
3.3. Современные симметричные криптосистемы
3.3.1. Общие сведения
3.3.2. Алгоритм DES и его развитие
3.3.3. Другие симметричные алгоритмы первого поколения
3.3.4. Новый стандарт криптографической защиты
3.4. Основные методы криптоанализа
3.5. Двухключевые криптографические системы
3.5.1. Односторонние функции
3.5.2. Несимметричные системы шифрования
3.5.3. Шифрование информации методом *RSA*
3.5.4. Криптосистема Эль-Гамаля
3.5.5. Система открытого распределения ключей
3.5.6. Сравнение симметричных и несимметричных алгоритмов шифрования
3.6. Хэш-функция
3.7. Цифровая подпись
3.8. Генерация простых чисел
3.9. Стеганография
3.10. Программный пакет *PGP*
Глава 4. Методы аутентификации
4.1. Разновидности аутентификации
4.2. Симметричные методы аутентификации
4.3. Несимметричные методы аутентификации
4.4. Биометрические методы аутентификации

Глава 5. Программно-технические средства защиты информации
5.1. Общие принципы создания систем защиты информации
5.2. Технические средства снятия информации
5.3. Защита информации от побочных излучений
5.4. Защита информации в каналах связи
5.5. Защита информации от случайных угроз
5.6. Защита конфиденциальности информации
5.7. Контроль целостности данных
5.8. Базы данных как объекты безопасности информации
5.9. Особенности защиты банковской информации
Глава 6. Анализ стандартов информационной безопасности
6.1. Роль стандартов информационной безопасности
6.2. Критерии безопасности компьютерных систем министерства обороны США ("Оранжевая книга")
6.2.1. Требования и критерии «Оранжевой книги»
6.2.2. Классы безопасности компьютерных систем
6. 3. Руководящие документы Гостехкомиссии России
6.3.1. Критерии и требования безопасности
6.3.2. Классы защищенности автоматизированных систем
6.4. Единые критерии безопасности информационных технологий
6.5. Анализ стандартов информационной безопасности
Приложение 1. Теоретические основы криптографии
Приложение 2. Генерирование равномерно распределенной случайной последовательности
Приложение 3. Лабораторные работы
1. Шифрование сообщений методом Вижинера
2. Блочное шифрование информации методом гамирования
3. Электронная жеребьевка
4. Шифрование информации методом *RSA*
5. Программная система *PGP*
6. Программная система *S-TOOLS*
Приложение 4. Федеральный закон «Об информации, информационных технологиях и о защите информации»
Приложение 5. Федеральный закон «Об электронной цифровой подписи»

По вопросу приобретения учебного пособия необходимо обращаться в региональные книготорговые организации. В Иркутске это «Продалит».

ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛЕ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ. МОДЕЛИРОВАНИЕ» ЗА 2008 Г.

№1 (17) 2008

Раздел 1. Механика. Транспорт. Машиностроение.

Хоменко А.П., Лукьянов А.В.
Пневматические элементы в схемах управления динамическим состоянием виброзащитных систем. С. 6-17.

Белокобыльский С.В., Ситов И.С.
Особенности структуры вибрационного поля двумерного объекта в системе обобщенных координат "смещение - угол поворота" и соответствующих координатам обобщенных силах. С. 18-22.

Елисеев С.В., Упырь Р.Ю.
Рычажные механизмы в системах балочного типа. С. 23-27.

Кобзов Д.Ю., Дэлэг Д., Жмуров В.В., Лханаг Д.
Модернизация конструкции опор гидроцилиндра привода ковша одноковшовых гидрофицированных дорожных и строительных машин С. 28-33.

Кузнецов Н.К.
Гашение упругих колебаний управляемой машины с помощью дополнительных упругих элементов. С. 34-37.

Банина Н.В., Гозбенко В.Е.
Математические модели и динамические свойства связанных систем (вынужденные колебания). С. 37-41.

Белых А.В., Белоусов О.Г.
Многоступенчатое лабиринтно-винтовое уплотнение вала центробежного насоса. С. 42-46.

Мельниченко О.В., Михальчук Н.Л., Димов А.В., Мельниченко Т.Н.
Разработка комплексной автоматической заправки и диагностики букс с постоянным уровнем смазки моторно-осевых подшипников электровозов. С. 47-54.

Шаманов В.И., Трофимов Ю.А.
Компьютерное моделирование динамики переменного тягового тока в рельсах под катушками АЛСН. С. 55-60.

Белокобыльский С.В., Кашуба В.Б.
Оценка возможностей динамических взаимодействий рабочего блока и корпуса технологической машины для вибрационного заглаживания бетонных поверхностей. С. 61-68.

Сигачев Н.П., Тюпин В.Н.
Безопасность жизнедеятельности при выбросе бесстыкового железнодорожного пути от температурного и вибродинамического воздействия. С. 68-71.

Соболев В.И., Готовский Д.С.
Методика расчета на сейсмические воздействия многоэтажных зданий с упругопластическими и кинематическими виброизоляторами. С. 72-76.

Раздел 2. Управление в технических системах. Моделирование.

Закарюкин В.П., Крюков А.В., Асташин С.М.
Учет возмущений во внешней сети при имитационном моделировании систем тягового электроснабжения. С. 78-81.

Шаманов В.И., Пультяков А.В.
Марковская модель процесса технического обслуживания и ремонта устройств автоматики. С. 81-85.

Кузнецов Н.К., Перелыгина А.Ю.
Исследование эффективности управления колебаниями на основе трехмассовой расчетной схемы. С. 85-92.

Dmitriy Yu.Kobzov, Lhanag D., Deleg D.
Dialectical approach to the insight into engineering objects evolution. С. 93-99.

Носков С.И.
Точечная характеризация множества парето в линейной многокритериальной задаче. С. 99-101.

Закарюкин В.П., Крюков А.В., Арсентьев М.О.
Моделирование режимов трехфазно-однофазных электрических систем при синхронных качаниях генераторов. С. 102-105.

Мадыев А.П. , Ширапов Д.Д.
Определение дисперсии первой производной асимптотически нестационарных сигналов типа переходный режим и анализ ее общих свойств. С. 106-109.

Дмитриева Т.Л.
Аппроксимация параметров состояния в задачах оптимизации систем, подверженных нестационарным динамическим воздействиям. С. 110-114.

Раздел 3. Системный анализ и междисциплинарные подходы в исследованиях.

Летников Ф.А.
Синергетика природных и техногенных воздействий человека. С.117-152.

Хоменко А.П., Елисеев С.В., Засядко А.А.
Формирование концепции вибродиагностических методов неразрушающего контроля. Современные представления. С.153-172.

Упырь Р.Ю., Насников Д.Н., Логунов А.С.
Особенности передачи механических воздействий в механических цепях с ограниченным числом степеней свободы. С.173-181.

Зоркальцев В.И., Казазаева А.В., Мокрый И.В.
Модель взаимодействия трех пелагических видов организмов озера Байкал. С.182-193.

Белоусов К.Н., Бутырин О.В., Носков С.И.
Методика оценки результатов экспертизы в решении многокритериальных задач. С.194-196.

Печенкина В.В., Арбатская Н.А.
Оценка экономико-производственных показателей работы железных дорог на основе дисперсионного анализа. С.196-198.

Дмитренко А.В.
Принципы развития экономики стран мира на перспективу. С.199-204.

Карнаухова В.К., Краковская Т.А.
Выбор новых специализаций для сферы услуг. С. 204-206.

№2 (18) 2008

Раздел 1. Механики. Транспорт. Машиностроение.

Хоменко А.П., Елисеев С.В., Засядко А.А.
От динамики управляемых систем к мехатронике. С.10-14.

Резник Ю.Н., Шумилова Л. В.
Способ подготовки упорных сульфидных золотосодержащих руд к выщелачиванию. С.15-20.

Кузнецов Н.К., Кузнецова О.С.
Динамическое гашение упругих колебаний исполнительных механизмов роботов. С.21-25.

Тюпин В.Н.
Влияние вибродинамического воздействия движущегося поезда на устойчивость опор контактной сети и безопасность перевозочного процесса. С.26-28.

Соболев В. И., Черниговская Т.Н.
Алгоритм формирования гармонического элемента в моделировании колебаний тонкой пластины. С.29-35.

Xu Xianfeng, Xiao Peng, Xiong Xiang,Huang Boyun
Effects of surface coats on the mechanical and physical properties of carbon fibers. С.36-38.

Gao Jianping, Yin Hongyan
Shaking table test of a 1/5 scaled integrated masonry-in-frame system model. С.39-43.

Liu Hong, Xiong Liping, Zhou Xiang, He Zhongyi, Zhang Shaoming
Tribochemical study of two triazine derivatives as additives in rapeseed oil. С.44-48.

Lu Xiuguo, Liu Xuemei, Liu Yan
Magnetic-assisted micro-ozone applied to oxidize methylene blue dye simulated wastewater. С.49-54.

Yang Feng-ping, Zhang Bi-wu, Feng Chun-hua
Mechanical properties measurement and software design of vacuum circuit breaker. С.54-58.

He Zhongyi, Xiong Liping, Lu Jinliang, Ren Tianhui, Zhang Shaoming
Tribological study of a triazine derivative as lubricant in rapeseed oil. С.59-61.

Шумилова Л.В.
Классификация золотосодержащих руд с дисперсным золотом по технологической упорности. С.62-69.

Засядко А.А., Насников Д.Н.
Наблюдаемость и управляемость в задачах активной виброзащиты. С.69-75.

Упырь Р.Ю., Логунов А.С, Пермяков М.А.

Специфические режимы в динамике базовых моделей механических колебательных систем. С.76-81.

Jiang Xian-Gang

The technology research on image smooth and medical organ's 3D-reconstruction based on anisotropic diffusion. С.82-86.

Капустин А.Н., Гарифулин В.Ю., Перелыгин В.Н., Лукьянов А.В.

Эффективное сопоставление изображений в инфракрасном и оптическом спектральных диапазонах с использованием стереопары «тепловизор-видеокамера». С.87-98.

Суржик В.В.

Системный анализ динамики экранопланов. С.99-101.

Дементьев В.П., Корнева Л.В., Серпиянов А.И., Черняк С.С., Поздеев В.Н., Тужилина Л.В., Фалько Н.В.

Рельсы повышенной эксплуатационной стойкости для Сибири. С.102-104.

Дьяченко А.А., Московских А.О., Пермяков М.А.

Некоторые задачи вибрационной надежности технических объектов. С.105-108.

Раздел 2. Управление в технических системах. Моделирование.

Аршинский Л.В., Зиневич С. В., Удилов В.П.

Методика векторного оценивания системы пожарной безопасности предприятия. С. 110-118.

Дойников А.Н., Сальникова М.К., Калинин М.П.

Методика прогнозирования нестационарных процессов в структурно неустойчивых системах С.118-122.

WANG Sen

A Comparison of specifications between several formal methods. С.123-127.

Закарюкин В.П., Крюков А.В., Абрамов Н.А.

Выделение сенсорных элементов в системах тягового электроснабжения. С.127-130.

Соломянный С.В., Корольков Б.П.

Построение систематики железнодорожного подвижного состава на примере грузовых вагонов-платформ с помощью методов кластерного анализа и самоорганизующихся карт Кохонена. С.130-135.

Сальникова М.К., Герасименко К.В., Макаренко Я.Н.

Анализ эффективности спектрального и сингулярного разложения в задачах прогнозирования сигналов с переменной структурой. С.136-138.

Шаманов В.П., Суров В.П., Трофимов Ю.А., Алешечкин Ю.А.

Параметры тяговой рельсовой сети и устойчивость работы приборов безопасности С.139-144.

Елисеев С.В., Соболев В.И., Градобоев А.В.

К выбору численных алгоритмов определения достаточности армирования железобетонных композитов в условиях дискретных моделей. С.144-149.

Пашкова А.С., Иванков А.Н., Гозбенко В.Е.

Прогноз спроса на пассажирские перевозки с сегментированием по типам автотранспорта. С.149-152.

Финогенко И.А., Финогенко В.И., Дьякович М.П.

Метод вложенных линейных сверток для оценки качества здоровья населения. С.153-160.

Раздел 3. Системный анализ и междисциплинарные подходы в исследованиях.

Летников Ф.А.

Государство - открытая неравновесная динамическая система. Синергетический аспект. С.162-167.

Осипов В.Е., Куценко Н.Ю.

Гуманитарная культура в системе технического образования. С.167-171.

Степаненко А.С.

Философско-Методологические проблемы соотношения естественного и искусственного интеллекта. С.171-178.

Резник Ю.Н., Колодин В.С., Гутгарц Р.Д.

Резервы и механизмы повышения качества продукции. виртуальное производство и cals-технологии. С.178-180.

Zhao Xiaojing

Develop a sense of ownership, and innovation disseminates. С.181-186.

Liu Xian

The basic conception of railway credit transportation and its evolutive varieties. С.187-191.

Лонцих П.А., Елисеев С.В., Гутгарц Р.Д.

Конкурентоспособность и рентабельность предприятий при внедрении систем менеджмента качества. С.192-195.

Дмитренко А. В., Зяблова И. В.

Принципы развития мировой транспортной сети на перспективу. С.195-198.

Zhou Liping

An action research on helping students of special majors become autonomous learners through formative. C.199-204.

Baogen Xu, Li Deng

On Reciprocal Signed Domination in Graphs. C.204-207.

Fan Yong, Zhang Xuan

An empirical study on concentration ratio in China's securities traders. C.207-211.

Кородюк И.С., Колодин В.С., Слинкова О.К.

Мониторинг и диагностика систем качества предприятия. С.211-214.

HuJunnan,XuXiaoyang

Dividend policy of listed companies in china. C.215-222.

Tong Zhengong, Li Liling

Optimal booster disinfection in water distribution systems. C.223-226.

СПЕЦВЫПУСК 2008

Раздел 1. Механики. Транспорт. Машиностроение.

Елисеев С.В., Хоменко А.П.

О связи устойчивости и эффективности в системах активного управления колебаниями. С. 6-11.

Бычков И.В., Гаченко А.С., Хмельнов А.Е., Фереферов Е.С.

Система создания автоматизированных рабочих мест с возможностью взаимодействия с пространственными данными на основе метаописаний структур баз данных. С. 12-17.

Засядко А.А., Насников Д.Н.

Особенности гидропривода в системах активной вибрационной защиты. С. 18-29.

Гаченко А.С., Лемперт А.А.

Об одном подходе к организации удаленного доступа к вычислительному программному комплексу. С. 30-34.

Батурин В.А., Баянова Т.О.

Моделирование оценочной функции альтернатив многокритериальных задач принятия решений. С. 34-39.

Логунов А.С., Московских А.О., Упырь Р.Ю.

Формывнешних воздействий и задачи эффективности защиты от вибраций. С. 40-46.

Бычков И.В., Ружников Г.М., Хмельнов А.Е., Шигаров А.О.

Метод обнаружения статистических таблиц в метафайлах. С. 47-51.

Узунов В.Г., Дьяченко А.А., Спорыхин М.А., Белов И.А.

Математическое обеспечение мониторинга состояния транспортной системы и её объектов на основе вероятностного подхода. С. 52-59.

Градобоев А.В.

Расчет железобетонных конструкций в условии напряженно-деформированного состояния с трещинами. С. 60-63.

Такайшвили Л.Н.

Особенности вычислительного эксперимента исследования развития угольной промышленности в рамках ТЭК. С. 64-69.

Парамонов В.В.

Реализация и апробирование интеллектного варианта MDA-подхода автоматизации конструирования информационной системы. С. 69-75.

Массель А.Г., Аршинский В.Л.

Применение когнитивного моделирования для ситуационного анализа проблемы энергетической безопасности. С. 75-80.

Черноусова Е.С.

Метамодель информационной системы для ситуационного анализа региональных проблем. С. 81-85.

Черниговская Т.Н.

Программная реализация расчета вибронагруженных дискретно-континуальных динамических систем, содержащих тонкие пластины. С. 86-90.

Раздел 2. Управление в технических системах. Моделирование.

Горнов А.Ю., Кузьменко Е.Т., Аникин А.С., Зароднюк Т.С.

Применение алгоритмов аппроксимации экспериментальных данных в задаче выявления значимых медико-социальных факторов. С. 92-96.

Зароднюк Т.С.

Численное исследование свойств алгоритмов параметрического синтеза оптимального управления. С. 96-100.

Засядко А.А., Упырь Р.Ю., Логунов А.С.

Оценка динамических свойств виброзащитных систем. С. 100-111.

Черемных С.В.

Автоматизация выбора значений параметров в алгоритмах сильного и слабого улучшения второго порядка для задач оптимального управления. С. 112-117.

Московских А.О., Пермяков М.А.

Переходные процессы в системах с дополнительными связями. С. 118-121.

Маджара Т.И.

Подход к численному решению задач оптимального управления с вычислительными особенностями. С. 122-126.

Новиков М.А.

Знакоопределенность и теорема Финслера. С. 126-132.

Орлова Т.Т.

Математические модели в организации производства. С. 132-133.

Горбунов В. К., Ледовских А.Г.

Производственные функции многих переменных с переменной эластичностью замещения. С. 134-138.

Раздел 3. Системный анализ и междисциплинарные подходы в исследованиях.

Зоркальцев В.И.

Экономические индексы, удовлетворяющие требованиям транзитивности и среднего значения. С. 140-142.

Маракулин В.М.

Общественный выбор по правилу большинства: многомерный победитель по Кондорсе. С. 142-147.

Аршинский В.Л., Фартышев Д.А.

Моделирование ситуаций с использованием когнитивных карт и joiner-сетей. С. 148-151.

Белякова А.Ю., Вашукевич Е.В., Труфанова Е.С.

Модели оптимизации производства сельскохозяйственной продукции со статистическими оценками наводнений и засух. С. 152-157.

Филатов А.Ю.

О задаче выбора официальных языков Евросоюза. С. 158-162.

Васин А.А., Васина П.А.

Об организации государственных инспекций и борьбе с коррупцией. С. 163-170.

Макарова Е.А.

Сущность и классификация системы планирования реконструктивных мероприятий на транспорте. С. 170-173.

Гизунова Е.А.

Построение системы вознаграждений работников по трудовому рейтингу. С. 174-177.

Мустапаева А.Д.

Принципы организации оперативного руководства местной работой на линейном районе отделении перевозок. С. 177-179.

Задорнов В.А.

Методы обоснования эффективности производственной деятельности железнодорожного транспорта. С. 180-183.

Покровский Д.А.

Задача распределения участия в приобретениях при взаимосвязанных функциях полезности, наличии трансферов и наличии частных благ. С. 183-188.

Черевикина М.Ю.

Участие Сибирских исследователей в конкурсах РГНФ. Особенности отраслей наук и регионов. С. 188-191.

Никитина Е.Ю., Северова М.О.

Управление затратами как одно из направлений повышения эффективности и конкурентоспособности ремонтного производства железнодорожных предприятий. С. 192-197.

Шабурова А.В.

Формирование механизма воспроизводства трудового потенциала работников в условиях активации инновационной деятельности. С. 198-202.

Басарева В. Г.

Малый бизнес: модель рационального поведения индивида на рынке труда. С. 203-206.

Сурков Л.П.

Мотивационная составляющая в стратегии управления качеством. С. 206-210.

Борисов Б.Г.

Технологии комплексного подхода к социально-общественной практике студентов. С. 210-213.

Юсупов С.Н.

Процессный подход в использовании организационной структуры управления локомотиворемонтным производством в национальной компании "Казахстан темир жолы". С. 214-216.

Степаненко А.С.

Системные подходы в проблематике определения искусственного интеллекта. С. 216-221.

Рубежанский П.Н.

Оплата живого труда и реализации его потенциальных возможностей. С. 222-226.

Бондарев А.Е., Курганская Г.С.

Мониторинг и анализ социально-экономического развития региона на основе информационных технологий. С. 227-231.

Сокол К.П.

Совершенствование системы управления производительностью труда работников промышленного железнодорожного транспорта. С. 232-236.

Иванов С.С.

Об оценке инвестиционного проекта защиты тягового подвижного состава методами Н-моделей. С. 236-243.

Марцыновский Д.А., Резник А.Ю.

Основные аспекты риск-менеджмента. С. 243-248.

№3 (19) 2008

Раздел 1. Механики. Транспорт. Машиностроение.

Елисеев С.В., Хоменко А.П.

Виброзащитные системы. Вопросы управляемости и наблюдаемости. С. 8-13.

Кузнецов Н.К., Перелыгина А.Ю.

Исследование динамического способа гашения упругих колебаний трехмассовой системы. С. 14-19.

Новицкий Е.А., Шишкин З. А., Кузнецов К.А.

Моделирование газлифтного реактора высокотемпературного хлорирования этилена. С. 19-25.

Кобзов Д.Ю., Кобзов А.Ю., Жмуров В.В.

Орасчете экономической эффективности модернизации гидроцилиндров ДСМ. С. 26-30.

Засядко А.А., Насников Д.Н.

Экспериментальные исследования гидравлической активной виброзащитной системы. С. 31-37.

Данеев А.В., Русанов В.А., Удилов Т.В., ШарпинскийД.Ю.

К методам оперативного прогнозирования фронта лесного пожара. С. 38-46.

Измайлов В.В., Наумов А.Е.

Применение адаптивных статических моделей для прогнозирования остаточного ресурса электроконтактных соединений. С. 46-49.

Огар П.М., Максимова О.В., Тарасов В.А.

Относительная площадь контакта при взаимодействии шероховатой поверхности с упругим слоистым полупространством. С. 49-51.

Резник Ю.Н., Шумилова Л.В.

Состояние и перспективы промышленного использования биогидрометаллургической технологии извлечения золота из упорных руд. С. 52-58.

Мельниченко О.В., Цыбульский В.С., Чикиркин О.В.

Повышение качества электрической энергии в контактной сети с целью снижения отказов электронного и силового электрооборудования электровоза. С. 58-64.

Раздел 2. Управление в технических системах. Моделирование.

Финогенко И.А.

О принципе декомпозиции для механических систем с сухим трением. С. 66-70.

Зароднюк Т.С., Горнов А.Ю.

Технология поиска глобального экстремума в задаче оптимального управления. С. 70-76.

Федоров В.В., Молчанова Е.И.

Разработка интеллектуального редактора базы знаний для создания экспертных систем в среде CUPS. С. 76-80.

Крюков А.В., Закарюкин В.П., Арсентьев М.О.

Использование технологий распределенной генерации на железнодорожном транспорте. С. 81-87.

Зоркальцев В.И., Медвежонков Д.С.

Транспортная модель с нелинейными затратами на перевозку. С. 87-97.

Пержабинский С.М.

Алгоритм внутренних точек, использующий квадратичные аппроксимации. С. 97-101.

Белоусов Р.А., Бузиков И.А., Климов Н.Н., Фискин Е.М., Фискина М.М.

Моделирование и разработка программного комплекса автоматизации учета тепла в ЖКХ. С. 102-105.

Абаев А.В., Бутырин О.В.

Математическая модель оценки оперативной деятельности подразделений ГПС. С. 106-109.

Подкаменный Д.В.

Вычислительный сервер для решения задачи оптимального управления. С. 109-113.

Пашков Н.Н.

Параметрические условия устойчивости разрывных систем управления. С. 114-118.

Раздел 3. Системный анализ и междисциплинарные подходы в исследованиях.

Горбунов В.К., Козлова Л.А.

Построение и исследование квазиинвариантных индексов потребления. С. 120-127.

Ворожцова Т.Н.

Онтологическое моделирование программного комплекса с использованием микроформатов. С. 128-131.

Козлов В.В.

Моделирование нестационарных процессов диффузии растворенных органических веществ донных отложений: изменение направленности потоков и оценка биогенной нагрузки в придонной воде. С. 132-140.

Корольков Б.П., Корольков П.Б.

Систематика – не вечный двигатель, а веление времени. С. 141-149.

Узунов В.Г., Дьяченко А.А., Спорыхин М.А., Белов И.А.

Прогнозный подход в оценке нахождения технических систем в текущем состоянии. С.150-157.

Бусыгин В.П.

Экономическая теория после двух революций. С. 158-163.

Массель Л.В., Бахвалов С.В., Бахвалова З.А.

Информационное моделирование взаимодействия субъектов образовательного кластера. С. 164-170.

Мухопад Ю.Ф., Суржик В.В.

Перспектива развития транспортных сетей для евро-азиатского коридора. С. 171-173.

Резник Ю.Н., Байбородин Б.А., Сапожников А.А.

Критерии и инструменты качества в задачах прогнозирования эффективности предприятий. С. 174-177.

Сольская И.Ю., Федорова Е.А.

Повышение квалификации специалистов в области управления персоналом как элемент системы менеджмента качества. С. 178-180.

Иванов А.Г., Бахвалов С.В.

Информационное моделирование медицинской информационно-аналитической системы. С. 181-186.

Степаненко А.С.

Социально-культурные предпосылки искусственного интеллекта. Системные аспекты. С. 186-191.

Марцынковский Д.А., Резник А.Ю.

Методология, принципы и подходы интеграции систем менеджмента. С. 192-195.

ЮБИЛЕИ И ДАТЫ

9 октября 2008 года исполнилось семьдесят лет одному из ведущих ученых Российской Федерации — известному специалисту в области электроэнергетики, талантливому педагогу и организатору науки Александру Зельмановичу Гамму, доктору технических наук, профессору, лауреату государственной премии СССР и премии им. Г.М. Кржижановского, действительному члену академии электротехнических наук РФ, главному научному сотруднику ИСЭМ СО РАН.

Александр Зельманович Гамм является одним из создателей теории оценивания состояния электроэнергетических систем (ЭЭС). Им предложены оригинальные методы повышения точности исходной информации и анализа наблюдаемости. Под руководством А.З. Гамма сформировано новое направление исследования сложных ЭЭС, связанное с выделением и анализом сенсорных и слабых звеньев.

Александр Зельманович — автор более 240 научных работ (в том числе 16 монографий), посвященных актуальным вопросам моделирования режимов сложных электроэнергетических систем. Заслуженное признание среди отечественных и зарубежных специалистов получили следующие монографии юбиляра:

- статистические методы оценивания состояния электроэнергетических систем, 1976 г.;
- наблюдаемость электроэнергетических систем, 1990 г.
- анализ неоднородностей электроэнергетических систем, 1999 г.
- обнаружение грубых ошибок телеизмерений в электроэнергетических системах, 2000 г.

На основе фундаментальных разработок Александра Зельмановича в Иркутском государственном университете путей сообщения создаются эффективные методы определения режимов систем тягового электроснабжения, позволяющие решать актуальные практические задачи транспортной электроэнергетики.

Величайшая личная скромность, высочайший профессионализм, редкий талант в соединении с глубоким чувством ответственности и внимание к людям вызывает неизменное уважение всех, кто работает и общается с Александром Зельмановичем.

Горячо поздравляем Александра Зельмановича с 70 — летием, желаем ему здоровья и больших творческих успехов в его разносторонней деятельности.

Профессора С.В. Елисеев, В.Д. Бардушко, А.В. Крюков

Раздел 1
Механика. Транспорт. Машиностроение. Технологии

УДК 62-52.

Елисеев С.В., Упырь Р.Ю. Мехатронные подходы в задачах вибрационной защиты машин и оборудования // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. ИрГУПС. - 2008. №4(20). С. 8-16.

Рассматриваются возможности нетрадиционного представления управления движением по принципу относительного отклонения. Предложены подходы динамического синтеза виброзащитных систем, в структурах которых имеются дополнительные связи с независимыми движениями.

Илл. — 15. Библ. — 3 наим.

УДК 625.71

Мартьянов В.И., Симонов А.С. Анализ и проектирование трассы автомобильной дороги // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. ИрГУПС. - 2008. №4(20). С. 16-23.

В настоящей работе рассматривается подход к автоматизации проектирования трассы автомобильной дороги на цифровой топооснове, как комбинаторной задачи [6] высокой сложности дискретной математике, если считать, что имеются минимальный шаг (отрезок прямой) и минимальные уголы поворота следующего шага в горизонтальной и вертикальной плоскостях относительно предыдущего (параметры перебора при проектировании трассы из точки *A* в точку *B*).

Табл. — 6. Библ. — 7 наим.

УДК 621.865.8.001

Дамбаев Ж. Г., Гришко Д. В. Решение прямой задачи геометрии механизмов параллельной структуры с помощью алгебры винтов (моторов) // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. ИрГУПС. - 2008. №4(20). С. 24-26.

В настоящей статье выяснено, что математический аппарат теории винтов и кватернионов, который до сих пор недостаточно применялся в робототехнике, позволяет единообразно описывать силовые и кинематические характеристики механизмов параллельной структуры и его целесообразно использовать при постановке и решении задач механики данных механизмов.

Илл. — 3, Библ — 4 наим.

УДК 62-50

Данеев А.В., Русанов В.А., Удилов Т.В., Шарпинский Д.Ю. Методы оперативного прогнозирования фронта лесного пожара // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. ИрГУПС. - 2008. №4(20). С. 27-35.

В этой работе авторы обращаются к вопросу имитационного моделирования развития фронта ЛЛП и определению уравнений его динамики в специальной программной среде *реализации динамической модели* – «РЕДИМ».

Илл. — 8. Библ. — 9 наим.

УДК 656.259.2.004.5

Шаманов В.И. Электроизолирующие свойства эксплуатируемых железобетонных шпал // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. ИрГУПС. - 2008. №4(20). С. 35-40.

Представлен способ измерения сопротивления электроизолирующих элементов железобетонных шпал с использованием приемов неразрушающего контроля, позволяющий достоверно определять в условиях эксплуатации причины, вызывающие переход электрической

изоляции железобетонных шпал в предотказное состояние или состояние отказа, и тем самым достоверно выбраковывать шпалы, вызывающие недопустимое снижение сопротивления изоляции рельсовых линий

Илл. — 2. Библ. — 4 наим.

УДК 656.01

Насников Д.Н. Активные элементы как типовые звенья в управляемых виброзащитных системах // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. ИрГУПС. - 2008. №4(20). С. 41-49.

Рассматриваются особенности динамического синтеза виброзащитных систем, в которых используется расширенный набор типовых элементов. Показано, что активные звенья, использующие внешние источники энергии могут также быть отнесены к структурам, характерным для пассивных связей.

Илл. — 8. Библ. — 17 наим.

УДК 661723+678.684

Пекарь К.А., Руш Е.А., Халиуллин А.К. Сорбенты для очистки сточных вод на основе отходов химической и нефтехимической промышленности // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. ИрГУПС. - 2008. №4(20). С. 50-53.

Предлагается вариант одновременной переработки хлорорганических и серосодержащих отходов нефтехимии. В основу процесса положена реакция водного раствора полисульфида натрия (преимущественно тетрасульфида) со смесью хлорорганических соединений (кубовыми остатками производства хлорорганических продуктов).

УДК 622.342

Шумилова Л.В. Экспериментальные исследования выщелачивания золота гетеротрофными бактериями при использовании комбинированных методов окисления // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. ИрГУПС. - 2008. №4(20). С. 54-59.

Эксперементально подтверждено, что для эффективной подготовки к уканированию сульфидных руд и концентратов окисления целесообразно осуществлять в два этапа. Первый этап это первичное окисление поверхности минералов физикохимическим методом. Второй — последующее доокисления подготовленной поверхности с использованием элементной серы.

Илл. — 3. Библ. — 7 наим.

УДК 621.375.8

Шастин В.Н. Современное состояние и перспективы промышленного использования лазерных технологий в машиностроении // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. ИрГУПС. - 2008. №4(20). С. 60-66.

Предлагаются рекомендации для активации и расширении работ, связанных с обработкой поверхности деталей лазером. Рассматриваются вопросы термоупрочнения и особенности изменения свойств материалов специфичных для машиностроения.

Илл. — 3. Библ. — 8 наим.

Раздел 2
Управление в технических системах. Моделирование

УДК 621.311

Закарюкин В.П., Крюков А.В., Соколов В.Ю. Системный подход к моделированию многоамперных шинопроводов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. ИрГУПС. - 2008. №4(20). С. 68-72.

Предложен новый метод моделирования многоамперных шинопроводов, выполненных из прямоугольных или круглых шин, отличающийся системным подходом к моделированию и по-

зволяющий корректно учитывать поверхностный эффект и эффект близости. На основе моделирования возможно получение картины распределения токов по сечению шин. Сравнение полученных результатов моделирования с экспериментальными данными позволяет сделать вывод о приемлемости предлагаемого метода для решения практических задач расчета режимов в СЭС, включающих многоамперные шинопроводы.

Илл. — 9. Табл. — 2. Библ. — 4 наим.

УДК 502.36+502.6:622.24

Руш Е.А. Математическое моделирование природного равновесия в водной экосистеме бассейна реки Ангары // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. ИрГУПС. - 2008. №4(20). С. 73-77.

Представлены результаты исследований по оценке природного равновесия в водной экосистеме бассейна реки Ангары на основе реализации метода иммитационного моделирования с использованием программного комплекса SELECTOR-C.

Илл. — 1. Библ. — 13 наим.

УДК 517.977

Букина А.В. Численные методы оптимизации интегро-дифференциальной системы // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. ИрГУПС. - 2008. №4(20). С. 77-81.

Исследуется задача оптимального управления интегро-дифференциальной системой, для которой приводятся необходимые условия оптимальности в формах вариационного принципа максимума и принципа максимума Понтрягина. На их основе конструируются численные алгоритмы решения задачи.

Библ. — 6 наим.

УДК 62.52

Логунов А.С. Структурное моделирование пневматических систем в задачах вибрационной защиты объектов. Обобщенные подходы // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. ИрГУПС. - 2008. №4(20). С. 82-89.

Предлагаются математические модели для исследования особенностей динамических свойств виброзащитных систем, имеющих в своем составе пневматические исполнительные механизмы. Получены обобщенные структурные схемы, передаточные функции, а также соотношение, определяющие зоны эффективной защиты объектов при вибрационных внешних воздействиях.

Илл. — 4. Табл. — 1. Библ. — 6.

УДК 519.862

Жигунова Я.А., Носков С.И. Определение гармоник информативного сигнала монитора на основе методов регрессионного анализа // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. ИрГУПС. - 2008. №4(20). С. 89-90.

Данная статья посвящена проблеме поиска гармоник информативного сигнала при оценке защищенности средств вычислительной техники на предмет выявления побочных электромагнитных излучений. С этой целью было принято решение исследовать данную проблему с помощью методов регрессионного анализа. Авторами предложена математическая модель поиска первой гармоники информативного сигнала, проведена оценка ее адекватности, а также приведен алгоритм поиска всего спектра гармоник информативного сигнала.

Табл. — 2. Библ. — 3 наим.

Раздел 3
Системный анализ и междисциплинарные подходы в исследованиях

УДК 330.147

Гончаренко С.С. Транспортно-промышленное освоение азиатской части России - стратегическое направление комплексного развития страны в XXI веке // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. ИрГУПС. - 2008. №4(20). С. 92-104.

Рассматривается концепция развития транспортной системы Сибири и Дальнего Востока с позиций системной увязки с программами промышленного освоение территории.

Илл. — 16.

УДК 007; 681.3

Каштанов Ю.Б., Узунов В.Г., Резник И.Ю. Системный подход в разработке научно-методических и организационно-технических мероприятий по обеспечению качества и безопасности транспортных систем // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. ИрГУПС. - 2008. №4(20). С. 104-114.

Анализируются организационная структура российской системы управления безопасностью перевозок в плане научно-методологического обеспечения качества и безопасности транспортных систем.

Илл. — 4. Библ. — 10 наим.

УДК 330.147

Истаева А.А. Особенности обеспечения устойчивого развития транспортной отрасли // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. ИрГУПС. - 2008. №4(20). С. 115-118.

Рассматривается ряд факторов, определяющих особенности развития транспорта Казахстана: создание транзитного трансконтинентального коридора, учет интересов государств, вовлеченных в конкуренцию на рынке перевозок. В связи с этим определяются стратегические направления и формы реализации планов.

Библ. — 3 наим.

УДК 504:621; 6.(33)

Воробьева В.В., Малов В.Ю., Мелентьев Б.В., Позамантир Э.И. Транспортная инфраструктура азиатской России: подход к прогнозированию и результаты расчетов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. ИрГУПС. - 2008. №4(20). С. 119-128.

Статья является продолжением публикаций ИЭОПП СО РАН по вопросам прогнозирования и программного регулирования процесса освоения «проблемных регионов ресурсного типа». Процессы глобализации мировой экономики заставляют еще раз обратить внимание на перспективы развития Азиатской части России. Сегодня все более отчетливо проявляется несоответствие повышающейся значимости ее ресурсов и сокращающегося там населения. Необходим научно обоснованный ответ на призывы «Сжать» активное экономическое пространство за счет «холодных» восточных территорий. Наиболее естественный путь решения многих социально-экономических проблем авторам представляется в целенаправленной, активной региональной экономической политике государства в отношении его восточных территорий, реализации крупных межрегиональных проектов, способных обозначить новый вектор движения России в XXI веке.

Илл. — 2. Библ. — 3.

УДК 697.7: 631.371

Болгов М.В., Иваньо Я.М. Задачи моделирования агротехнологий при высокой повторяемости экстремальных природных событий // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. ИрГУПС. - 2008. №4(20). С. 128-132.

Рассматриваются возможности адаптивных подходов в реализации технологии производства сельскохозяйственной продукции с учетом опыта разрушений вносимых природными стихийными явлениями предлагается методом моделирования отрасли на основе задач параметрического программирования.

Библ. — 8 наим.

УДК 006.354, 382.3

Лонцих П.А., Резник Ю.Н., Лескова Т.М. Проблемы сертификации и аудита систем менеджмента качества // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. ИрГУПС. - 2008. №4(20). С. 132-134.

Рассматриваются методические подходы технологиях сертификации систем менеджмента качества. Основное внимание уделяется организационно техническим аспектам, ориентированным не использование специализированных организаций и учреждений (центры качества).

Илл. — 3 наим.

УДК 656. 22

Дмитренко А.В. Формирование системы производственных связей с учетом характера функционирования транспорта // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. ИрГУПС. - 2008. №4(20). С. 135-140.

Предлагается подход, в рамках которого рассмотрены основные причины роста объемов производства. Последние связана не только с созданием новых и более современных технологий, но и с развитием транспортных систем. Показана возможность взаимной увязки стратегии развития систем транспорта с особенностями производства сельхозпродукции.

Илл. — 1. Библ. — 6 наим.

УДК 566:3728

Айзенберг Н.И. Проблемы регулирования цен и тарифов на продукты естественных монополий // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. ИрГУПС. - 2008. №4(20). С. 140-148.

Рассмотрены механизмы формирования системы цен с учетом различных факторов. Показано, что тарифы для разной групп потребителей зависят от предельных издержек системы соглашений производителей, в частности, монополий.

Илл. — 4. Библ. — 8 наим.

УДК 159.947.2

Лидин К.Л. Поведенческие финансы и экономика эмоций // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. ИрГУПС. - 2008. №4(20). С. 148-153.

Автором показано, что анализ современных рынков поведенческих финансов является необходимым элементом моделирования структуры финансовых потоков как в глобальной, так и региональном масштабах.

Илл. — 3. Табл. — 1. Библ. — 21 наим.

Part 1
Mechanics. Transport. Mechanical engineering. Technologies

UDC 62-52

Eliseev S.V., Upyr' R.Yu. Mechatronics approaches at the problems of vibroprotection of machines and the equipment // The modern technologies. System analysis. Modelling. IrSURE. - 2008 # 4(20). - pp. 8-16.

Opportunities of nonconventional representation of management by movement by a principle of a relative deviation are considered. Approaches for dynamic synthesis vibeprotection systems in which structures there are additional communications with independent movements are offered.

Fig. - 16. Ref. - 3.

UDC 625.71

Martjanov V.I., Simonov A.S. Analysis and designing of a highway line // The modern technologies. System analysis. Modelling. IrSURE. - 2008 # 4(20). - pp. 16-23.

There is in the present work the approach to automation of designing of a highway line on digital topobase as combinatory problem [6] high complexities of discrete mathematics, if to suppose, that there are available the minimal step (a piece of a straight line) and minimal angles turn of a following step in horizontal and vertical planes concerning previous (parameters of search at designing a line from point A in point B).

Tab. - 6. Ref. - 7.

UDC 621.865.8.001

Dambaev Zh. G., Grishko D.V. The decision a direct problem of geometry mechanisms parallel structure by means of screws algebra // The modern technologies. System analysis. Modelling. IrSURE. - 2008 # 4(20). - pp. 24-26.

In present article it is found out, that a mathematical apparatus of the theory of screws and kvaternionov which was insufficiently applied till now in a robotics, allows to describe uniformly power and kinematic characteristics of mechanisms parallel structure and it is expedient for using at statement and the decision problems of mechanics for given mechanisms.

Fig. - 3. Ref - 4.

UDC 62-50

Daneev A.V., Rusanov V.A., Udilov T.V., Sharpinsky D.Yu. Methods of operative forecasting front of forest fire // The modern technologies. System analysis. Modelling. IrSURE. - 2008 # 4(20). - pp. 27-35.

There is in this work authors address to a question of imitating modelling development of front LLP and definition of the equations of its dynamics in the special program environment of realization of dynamic model - «REDIM».

Fig. - 8. Ref. - 9.

UDC 656.259.2.004.5

Shamanov V.I. Electroisolat's property of maintained armored concrete ties // The modern technologies. System analysis. Modelling. IrSURE. - 2008 # 4(20). - pp. 35-40.

The way of measurement of resistance of electroisolating elements of armored concrete ties with use of receptions of not destroying control is presented, allowing authentically to define under operating conditions the reasons causing transition of electric isolation of armored concrete ties in prenegative condition or a condition of refusal and by that it is authentic scrap ties causing inadmissible decrease of resistance of isolation of rail lines

Fig. - 2. Ref. - 4.

UDC 656.01

Nasnikov D.N. Active elements as typical parts in operated vibroprotection systems // The modern technologies. System analysis. Modelling. IrSURE. - 2008 # 4(20). - pp. 41-49.

Features of dynamic synthesis vibroprotection systems in which are used the expanded set of typical elements are considered. There is shown, that the active parts using external energy sources can be carried also to structures, characteristic for passive ties.

Fig. - 8. Ref. - 17.

UDC 661723+678.684

Pekar K.A., Rush E.A., Khaliullin A.K. Sorbent for sewage treatment on the basis of waste of the chemical and petrochemical industry // The modern technologies. System analysis. Modelling. IrSURE. - 2008 # 4(20). - pp. 50-53.

The variant of simultaneous processing chlorineorganic and sulfur waste of petrochemistry is offered. Reaction of a water solution of polysulfide of sodium is put in a basis (mainly tetrasulfide) with a mix chlorineprganic connections.

UDC 622.342

Shumilova L.V. Experimental research of leaching gold by heterotrophic bacteria by using of the oxidation combined methods // The modern technologies. System analysis. Modelling. IrSURE. - 2008 # 4(20). - pp. 54-59.

There is confirmed by experiment that is expedient to carry out in two stages for effective preparation to scan of sulphidic ores and concentrates of oxidation. The first stage is primary minerals surface oxidation by physicochemical method. The second is the subsequent extra oxidation of prepared surface with usinge of element sulfur.

Fig. - 3. Ref. - 7.

UDC 519.862

Shastin V.I. A modern condition and prospects of industrial use of laser technologies in mechanical engineering // The modern technologies. System analysis. Modelling. IrSURE. - 2008 # 4(20). - pp. 60-66.

There are recommendations for activization and expansions of the works connected with processing of a surface of details by the laser are offered. Questions thermohardening and features of change of properties of materials of employees for aircraft construction are considered.

Tab. - 2. Ref. - 3.

Part 2
Control in technical systems. Modelling

UDC 621.311

Zakaryukin V.P., Krjukov A.V., Sokolov V.Yu. The system approach to modeling of multi-ampere busbar // The modern technologies. System analysis. Modelling. IrSURE. - 2008 # 4(20). - pp. 68-72.

The new method of modelling of multi-ampere busbar is offered, the executed from rectangular or round trunks, differing the system approach to modelling and allowing correctly to consider superficial effect and effect of affinity. On the basis of modelling reception of a picture of currents distribution on trunks section is possible. Comparison of the received results of modelling with experimental data allows drawing a conclusion on an acceptability of an offered method for the decision of practical problems of calculation of modes in SES, including multi-ampere busbar.

Fig. - 9. Tab. - 2. Ref. - 4.

UDC 502.36+502.6:622.24

Rush E.A. Mathematical modelling of natural-ecological equilibrium in water ecosystems of the river Angara // The modern technologies. System analysis. Modelling. IrSURE. - 2008 #4(20). - pp. 73-77.

The aim of the given paper is the creation of the complex of theoretical-methodological foundations for the evaluation and normalisation of the river basin antropogeneous load taking into account the influence of nature management against the background of geological. hydrogeochemical soil and other natural conditions. The material accumulated makes it possible for us to start the creation of a physical-chemical model for hydrogeochemical system of the Irkutsk industrial region. The offered method of attack is based on the application of the SELECTOR-C programme complex. The point of the method is briefly expressed in the fact that on the basis of minimization of thermodynamic potential the way was worked out how to look at the formation and investigation of imitation models for dynamic megasistem — chemically interchanging natural and geotechnical systems connected by straight reverse and through flows of matter and energy.

Fig. - 1. Ref. - 13.

UDC 517.977

Bukina A.V. The numerical methods of optimization of integro-differential system // The modern technologies. System analysis. Modelling. IrSURE. - 2008 #4(20). - pp. 77-81.

The problem of optimum control is investigated by integro-differential system for which necessary conditions of an optimality in forms of a variational principle of a maximum and a principle of maximum of Pontryagin are resulted. On their basis numerical algorithms of the decision of a problem are designed.

Ref. - 6.

UDC 62.52

Logunov A.S. The structural modelling of pneumatic systems in problems of vibroprotection of objects. The generalized approaches // The modern technologies. System analysis. Modelling. IrSURE. - 2008 #4(20). - pp. 82-89.

Mathematical models for research of features of dynamic properties виброзащитных the systems incorporating pneumatic executive mechanisms are offered. The generalized block diagrams, transfer functions, and also the parities defining zones of effective protection of objects at vibrating external influences are received.

Fig. - 4. Tab. - 1. Ref. - 6.

UDC 519.862

Zhigunova Ya.A., Noskov S.I. Definition of harmonics of the informative signal of the monitor on the basis of methods of the regression analysis // The modern technologies. System analysis. Modelling. IrSURE. - 2008 #4(20). - pp. 89-90.

The article is devoted to a problem of search of harmonics of an informative signal at an estimation of security of means of computer facilities for revealing of collateral electromagnetic radiations. To achieve this purpose the decision to research the given problem by means of methods of the regression analysis was accepted. In this article the mathematical model of search of the first harmonic of an informative signal is offered, an estimation of its adequacy is lead and also the algorithm of search of all spectrum of harmonics of an informative signal is presented.

Tab. - 2. Ref. - 3.

Part 3
The system analysis and intersubject approaches in researches

UDC 330.147

Goncharenko S.S. Transport-industrial development of the Asian part of Russia - a strategic direction of complex development of the country in XXI century // The modern technologies. System analysis. Modelling. IrSURE. - 2008 # 4(20). - pp. 92-104.

The concept of transport system development of Siberia and the Far East with system of coordination and programs of industrial territory development is considered.

Fig. - 16.

UDC 007; 681.3

Kashtanov Yu.B., Uzunov V.G., Reznik I.Yu. The system approach in development of scientifically-methodical and organizational-technical actions on maintenance of quality and safety of transport systems // The modern technologies. System analysis. Modelling. IrSURE. - 2008 # 4(20). - pp. 104-114.

The structure of the Russian control system of safety of transportations, by way of scientifically-methodological maintenance of quality and safety of transport systems is offered.

Fig. - 4. Ref. - 9.

UDC 330.147

Istaeva A.A. The feature of maintenance of steady development of transport branch // The modern technologies. System analysis. Modelling. IrSURE. - 2008 # 4(20). - pp. 115-118.

A number of the factors defining features of development of transport in Kazakhstan, creation of a transit transcontinental corridor, the account of interests of the states involved in a competition in the market of transportations is considered. In this connection strategic directions and forms of realization of plans are defined.

Ref. - 3.

UDC 504:621; 6. (33)

Vorobeva V.V., Malov V.Yu., Melentev B.V., Pozamantir E.I. The transport infrastructure of the Asian part of Russia: the approach to forecasting and results of calculations // The modern technologies. System analysis. Modelling. IrSURE. - 2008 # 4(20). - pp. 119-128.

Clause is continuation of publications IEOPP the Siberian Branch of the Russian Academy of Science concerning forecasting and program regulation of process of development of "problem regions of resource type". There are processes of globalization of economic force to pay attention to prospects of development of the Asian part of Russia once again. Today discrepancy of a raising importance of its resources and the population reduced there is more and more distinctly shown. Scientifically proved answer to appeals "To compress" active economic space due to "cold" east territories is necessary. The most natural way of the decision of many social and economic problems is represented to authors in purposeful, active regional economic policy of the state concerning its east territories, realization of the large inter-regional projects, capable to designate a new vector of movement of Russia in XXI century.

Fig. - 2. Ref. - 3.

UDC 697.7 : 631.371

Bolgov M.V., Ivan'o Ya.M. Theproblems of modelling feature of agrotechnologies at high repeatability of extreme natural events // The modern technologies. System analysis. Modelling. IrSURE. - 2008 # 4(20). - pp. 128-132.

Opportunities of adaptive approaches in realization of the "know-how" of agricultural production in view of experience of destructions entail by the natural spontaneous phenomena. The technique of modelling of branch on the basis of problems of parametrical programming is offered.

Ref. - 8.

UDC 006.354, 382.3

Lontsih P.A., Reznik Ya.N., Leskova T.M. The problem of certification and audit of systems of a quality management // The modern technologies. System analysis. Modelling. IrSURE. - 2008 # 4(20). - pp. 132-134.

Methodical approaches in technologies of certification of systems of a quality management are considered. The basic attention is given the organizational-technical aspects focused on use of the specialized organizations and establishments (the centers of quality).

Fig. - 3.

UDC 656.22

Dmitrenko A.V. The choice of rational structure of an production links, in view of character of functioning of transport // The modern technologies. System analysis. Modelling. IrSURE. - 2008 # 4(20). - pp. 135-140.

The approach is offered within the limits of which principal causes of manufacture volumes growth are considered. The last is connected not only with creation of new and more modern technologies, but also with development of transport systems. The opportunity of mutual coordination of strategy of development of systems of transport, with features of manufacture farm is shown to production.

Fig. - 1. Ref. - 6.

UDC 566:3728

Aizenberg N.I. The problem of price control and tariffs for products of natural monopolies // The modern technologies. System analysis. Modelling. IrSURE. - 2008 # 4(20). - pp. 140-148.

Mechanisms of formation of system of the prices in view of various factors are considered. It is shown, that tariffs for different groups of consumers depend on limiting costs, system of the agreement of the manufacturer. There are monopolies, in particular,.

Fig. - 4. Ref. - 8.

UDC 159.947.2

Lidin K.L. The behavioural finances and economy of emotions // The modern technologies. System analysis. Modelling. IrSURE. - 2008 # 4(20). - pp. 148-153.

There is by authors it is shown, that the modern markets of the behavioural finances, are a necessary element of modelling of structure of financial streams both global, and regional scale.

Fig. - 3. Tab. - 1. Ref. - 21.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Айзенберг Наталья Ивановна, к.э.н., с.н.с., доцент, ИСЭ им. Мелентьева, тел. (3952) 42-97-64, e-mail: zen@isem.sei.irk.ru

Болгов Михаил Васильевич, д.т.н., зам. директораИнститута водных проблем РАН (г. Москва), тел. (495) 951-68-41, e-mail: bolgov@sitiline.ru

Букина Анна Викторовна, аспирантка кафедры методов оптимизации ИМЭИ ИГУ, тел. (3952) 24-22-16; e-mail: annabukina@mail.ru

Воробьева Валентина Васильевна, с.н.с., Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН, Новосибирск, тел. 330-25-96, e-mail: malov@ieie.nsc.ru

Гончаренко Станислав Степанович, к.э.н., профессор, президент Евроазиатского транспортного инновационного центра (г. Москва), тел. (496) 762-91-61, e-mail: goncharenkoss@mail.ru

Гришко Дмитрий Васильевич, аспирант, инженер Центра Технической Экспертизы Иркутского Государственного Университета Путей Сообщения. Сотовый телефон: 89021729011; раб. тел.: 8 (3952) 638391; e-mail: grishko@irgups.ru

Дамбаев Жаргал Гомбоевич, д.т.н., профессор, директор Центра Технической Экспертизы Иркутского Государственного Университета Путей Сообщения; Сотовый телефон: 89149098023, раб. тел.: 8 (3952) 638391

Данеев Алексей Васильевич, д.т.н., профессор, начальник Улан-Удэнского филиала заочного обучения ФГОУ ВПО Восточно-Сибирский институт МВД России (ФГОУ ВПО ВСИ МВД России).

Дмитренко Алексей Васильевич, д.т.н., профессор Сибирского государственного университета путей сообщения, тел. (+7913)4710776

Елисеев Сергей Викторович, д.т.н., профессор, исп. директор НИИ Современных технологий, системного анализа и моделирования Иркутского государственного университета путей сообщения, тел. (3952) 59-84-28

Жигунова Яна Анатольевна, Иркутский информационно-вычислительный центр ВСЖД, инженер-электроник, тел.: 89021767561, e-mail: yana-ka@yandex.ru

Закарюкин Василий Пантелеймонович, к.т.н., доцент Иркутского государственного университета путей сообщения, тел. (3952) 63-83-45 e-mail: zakar@irk.ru

Иваньо Ярослав Михайлович, д.т.н., профессор, проректор по НР ИГСХА, тел. (3952) 23-74-91, e-mail: iasa-econ@rambler.ru

Истаева Акмарал Ахметовна, к.э.н., доцент КазАТК им. М.Тынышпаева, г. Алматы, Казахстан, тел. 8 (727) 233-06-39, e-mail: a.aheldibaev@kazatk.kz

Каштанов Юрий Борисович, к.т.н., директор центра инноваций бизнес-образования ИрГУПС

Крюков Андрей Васильевич, д.т.н., профессор Иркутского государственного университета путей сообщения, тел. (3952) 63-83-45 e-mail: and_kryukov@mail.ru

Лескова Татьяна Михайловна, д.э.н., профессор, ВабНИЖТ ИрГУПС, зав. кафедрой экономики, тел. 89144579832

Лидин Константин Львович, к.т.н., доцент ИрГУПС, тел. 89149384600, e-mail: lidin@adexi.ru

Логунов Александр Сергеевич, аспирант Иркутского государственного университета путей сообщения, e-mail: 1984@mail.ru

Лонцих Павел Абрамович, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Управления качеством и механики» Иркутского государственного технического университета, тел. (3952)40-51-79

Мартьянов Владимир Иванович, д.ф.-м.н., профессор ИрГТУ, тел. (3952) 99-15-12, e-mail: ad@istu.edu

Малов Владимир Юрьевич, д.э.н., профессор, зав. сектора,Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН, Новосибирск, тел. 330-25-96, e-mail: malov@ieie.nsc.ru

Мелентьев Борис Викторович, д.э.н., в.н.с., Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН, Новосибирск, тел. 330-25-96, e-mail: malov@ieie.nsc.ru

Насников Дмитрий Николаевич, аспирант Иркутского государственного университета путей сообщения, email: nasnikov_dn@irgups.ru

Носков Сергей Иванович, д.т.н., профессор, Иркутский Государственный Университет путей сообщения, директор Института информационных технологий и модели-

рования, тел.: 63-83-22, e-mail: noskov_s@irgups.ru

Позамантир Эльмар Ибич, д.т.н., профессор, гл.н.с.Институт системного анализа РАН, Москва, тел. 84991354544, e-mail: posamantir@isa.ru

Пекарь Константин Александрович, аспирант ИрГУПС, тел. (3952) 63-83-52, e-mail: pekar_iriit@mail.ru

Резник Юрий Николаевич, д.т.н., профессор, ректор Читинского государственного университета, тел. (3022) 26-43-93

Русанов Вячеслав Анатольевич, д. ф.-м. н., главный научный сотрудник Института динамики систем и теории управления СО РАН (ИДСТУ СО РАН)

Руш Елена Анатольевна, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Безопасности жизнедеятельности и экологии» ИрГУПС, e-mail: rush_ea@irgups.ru

Симонов Андрей Сергеевич, аспирант ИрГУПС, тел. (3952) 99-15-12, e-mail: ad@istu.edu

Соколов Виталий Юрьевич, аспирант ИрГТУ

Удилов Тимофей Васильевич, адъюнкт ФГОУ ВПО Восточно-Сибирский институт МВД России (ФГОУ ВПО ВСИ МВД России)

Узунов Владимир Геннадьевич, соискатель ИрГУПС, тел.: 8-914-922-31-00

Упырь Роман Юрьевич, аспирант Иркутского государственного университета путей сообщения, e-mail: msxp@list.ru

Халиуллин Алексей Калиимулович, д.х.н., профессор ИрГУПС, каф. БЖД и экологии, тел. 89149150301, e-mail: khaliullin_ak@irgups.ru

Хвощевский Генадий Иннокентьевич, к.т.н., научный сотрудник музея, истории Иркутского авиационного завода

Шаманов Виктор Иннокентьевич, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Автоматика и телемеханика» Иркутского государственного университета путей сообщения, e-mail: shamanov_v@irgups.ru, тел: (3952) 63-83-51

Шарпинский Дмитрий Юрьевич, научный сотрудник Института динамики систем и теории управления СО РАН (ИДСТУ СО РАН)

Шастин Владимир Иванович, к.т.н., доцент, зав. кафедрой САПЭУ, тел. 89149440995

Шумилова Лидия Владимировна, к.т.н., докторант Читинского государственного университета, зам. директора по учебной работе ФГОУ СПО Забайкальский горный колледж, тел. (3022) 41-70-34

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

Современные технологии

Системный анализ

Моделирование

№4(20)
2008

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Ответственный за выпуск **С.В.Елисеев**

Подписано в печать 10.12.2008. 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»: 73693
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 Иркутского государственного
университета путей сообщения, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15.

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