

## Оценка совместимости системы тягового электроснабжения при внедрении интервального регулирования движения поездов по технологии «виртуальная сцепка»

Н. П. Асташков, В. А. Оленцевич✉, Ю. И. Белоголов, В. В. Кашковский

*Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация*

✉ olencevich\_va@mail.ru

### Резюме

Одним из основных направлений совершенствования перевозочного процесса в железнодорожной транспортной системе на сегодняшний день является разработка технологии интервального регулирования, использование которой позволит определять расстояние между поездами не свободными блок-участками, а ориентируясь на текущее месторасположение подвижного состава. Практическое использование предложенной в рамках статьи технологии позволит сократить интервал попутного движения поездов, увеличить пропускную и провозную способности железнодорожных линий. В целом эффективность внедрения интервального регулирования движения поездов по системе «виртуальная сцепка» представлена в работах многих авторов, однако вопросы использования существующей инфраструктуры системы тягового электроснабжения в работах не рассмотрены. Сопоставление технологии «виртуальная сцепка» с вождением соединенных поездов заключается в оценке резерва пропускной способности и графиков движения поездов. Использование современных программных средств математического моделирования позволит решить не только поставленные задачи, но и выполнить оценку совместимости используемой в настоящее время системы тягового электроснабжения. Из полученных авторами результатов видно, что при движении поездов в режиме «виртуальная сцепка» расход энергии, потери в тяговой сети, ограничивающий коэффициент нагрузки, температура в контактной сети и отсасывающей линии ниже, чем при движении соединенного поезда. Напряжение в контактной сети при использовании поездов с виртуальной сцепкой значительно выше, чем при использовании соединенных поездов. На основании изложенного можно сделать вывод, что использование поездов с виртуальной сцепкой на рассматриваемом участке целесообразней, чем соединенных.

### Ключевые слова

технология «виртуальная сцепка», средства математического моделирования, система тягового электроснабжения, контактная сеть, тяговый расчет, грузовой поезд, резерв пропускной способности, график движения поездов, режимная карта, токопотребление поезда, рабочий режим участка, потери в тяговой сети, ограничивающий коэффициент нагрузки, движение соединенных поездов, внутрисуточные колебания размеров движения.

### Для цитирования

Асташков Н. П. Оценка совместимости системы тягового электроснабжения при внедрении интервального регулирования движения поездов по технологии «виртуальная сцепка» / Н. П. Асташков, В. А. Оленцевич, Ю. И. Белоголов, В. В. Кашковский // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – № 3(67). – С. 173–180. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.3(67).173-180

### Информация о статье

поступила в редакцию: 19.04.2020, поступила после рецензирования: 25.05.2020, принята к публикации: 01.06.2020

## Evaluation of the compatibility of the traction power supply system during implementation of train traffic separation using the “virtual coupling” technology

N. P. Astashkov, V. A. Olentsevich✉, Yu. I. Belogolov, V. V. Kashkowsky

*Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation*

✉ olencevich\_va@mail.ru

### Abstract

One of the main directions for improving the transportation process in the railway transport system for today is the development of train separation technology, the use of which will allow determining the distance between trains not by clear block sections, but by focusing on the current location of the rolling stock. The practical use of the technology proposed in the article will reduce the interval of train spacing, increase the throughput capacity and carrying capacity of railway lines. In general, the effectiveness of implementing train traffic separation using the “virtual coupling” system is presented in the works of many authors, however, these works do not consider the issues of using the existing infrastructure of the traction power supply system. To compare the “virtual coupling” technology with driving linked multiple trains is to evaluate the throughput capacity reserve and train traffic schedules. The use of modern software tools for mathematical modeling will allow us to solve not only the tasks in hand, but also

to assess the compatibility of the currently used traction power supply system. According to the results obtained by the authors, it can be seen that when trains move in the “virtual coupling” mode, the energy consumption, losses in the traction network, the limiting load factor, the temperature in the overhead contact system and the feeder line are lower than when during the movement of the linked multiple train. The voltage in the overhead contact system when using trains with a virtual coupling is significantly higher than when using linked multiple trains. On the basis of the above facts, it can be concluded that it is more appropriate to use trains with a virtual coupling at the considered section than linked multiple ones.

### Keywords

“virtual coupling” technology, mathematical modeling tools, traction power supply system, overhead contact system, traction calculation, freight train, throughput capacity reserve, train traffic schedule, parameter chart, current consumption of the train, operating mode of the section, losses in the traction network, limiting load factor, movement of linked multiple trains, intra-day fluctuations in traffic amount.

### For citation

Astashkov N. P., Olentsevich V. A., Belogolov Yu. I., Kashkowsky V. V. Otsenka sovместимости системы тягового электроснабжения при vnedrenii interval'nogo regulirovaniya dvizheniya poezdov po tekhnologii «virtual'naya stsepka» [Evaluation of the compatibility of the traction power supply system during implementation of train traffic separation using the “virtual coupling” technology]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2020, No. 3(67), pp. 173–180. 10.26731/1813-9108.2020.3(67).173-180

### Article info

Received: 19.04.2020, Revised: 25.05.2020, Accepted: 01.06.2020

### Введение

В соответствии с научной основой Стратегии развития железнодорожного транспорта, разработанной на период до 2030 г., на первый план выдвигаются задачи по минимизации основных затрат отрасли, направленных на эксплуатацию и ремонт технологического оборудования [1]. Реализация данной политики по оптимизации перевозочных процессов возможна при учете использования современных технических средств и технологических процессов, совместимых с системами электроснабжения, условий эксплуатации электрооборудования.

Применение новых технологий в перевозочном процессе сегодня – это необходимость, обусловленная резким увеличением грузопотока по направлению к Дальнему Востоку. Эксплуатируемая железнодорожная транспортная инфраструктура в большинстве своем строилась во времена СССР, при этом только за последние 15 лет объем грузовых перевозок в данном направлении увеличился более чем в 2,5 раза. Поскольку строительство новых железнодорожных линий экономически неоправданно, необходим поиск альтернативных способов удовлетворения растущих запросов местного бизнеса и промышленных предприятий, одним из которых стала технология «виртуальная сцепка», которая потенциально может увеличить максимально возможные объемы поставки грузов более чем в 5 раз [2–4].

Одним из основных направлений совершенствования перевозочного процесса на сегодняшний день является разработка технологии интервального регулирования, использование которой позволит определять расстояние между поездами не свободными блок-участками, а ориентируясь на текущее месторасположение подвижного состава. Практиче-

ское использование предложенной в рамках статьи технологии позволит сократить интервал попутного движения поездов, увеличить пропускную и провозную способности железнодорожных линий и прочей транспортной инфраструктуры. Технология направлена в первую очередь на решение проблемы, связанной с увеличением провозной способности участков железнодорожных линий без модернизации имеющейся инфраструктуры, что особенно актуально в современных условиях при росте объемов перевозок на всей сети железных дорог [5, 6].

### Использование современных программных средств математического моделирования для оценки совместимости системы тягового электроснабжения

Оценка способности существующей инфраструктуры реализовать предложенную технологию является основной целью представленной работы. Развитие технологии вождения соединенных поездов предопределило возможность соединения поезда посредством «виртуальной сцепки», что не подразумевает физическое сцепление с помощью автоцепного устройства, расстояние между поездами определяется с учетом профиля пути и веса поезда. Перечисленные факторы отражают величину максимального тормозного пути.

Сопоставление технологии «виртуальная сцепка» с вождением соединенных поездов заключается в оценке резерва пропускной способности и графиков движения поездов. Использование современных программных средств математического моделирования позволит решить не только поставленные задачи, но и выполнить оценку совместимости используемой в настоящее время системы тягового электроснабжения [2, 7].

Разработчиком «виртуальной сцепки» является Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте (НИИАС). Основой предложенной технологии движения поездов служат следующие принципы:

– перевозочный процесс выполняется только в полностью автоматическом режиме;

– обмен информационными процессами между движущимися поездами происходит непрерывно с задержкой не более 100 мс;

– расстояние между поездами контролируется посредством данных по радиоканалу о местоположении, скорости и ускорении впереди идущего подвижного состава;

– контроль расстояния и скорости до впереди идущего поезда определяется посредством блока обнаружения препятствий;

– проводится точная синхронизация времени хода всех поездов.

Подконтрольная апробация технологии проведена для грузового движения на участках железных дорог:

1. Шкотово – Находка, Новонежино – Красноармейский Дальневосточной железной дороги и Кошурниково – Щетинкино Красноярской железной дороги в части перевода «локомотивов-толкачей» на следование в обратном направлении по системе «виртуальная сцепка».

2. Могоча – Уруша Забайкальской железной дороги в части организации движения по системе «виртуальная сцепка» порожних составов при проведении длительных «окон» по инфраструктуре.

3. Слюдянка – Большой Луг Восточно-Сибирской железной дороги в части испытаний технологии интервального регулирования для обеспечения возврата «локомотивов-толкачей» за нечетными грузовыми поездами по системе «виртуальная сцепка».

Практический опыт использования рассматриваемой в рамках статьи системы позволил выявить основные направления ее дальнейшего совершенствования:

– повышение устойчивости работы защищенного радиоканала в условиях пересеченной местности и наличия тоннелей;

– работа алгоритмов автоведения.

Установленный график движения на дальневосточной магистрали позволяет пропускать 5 пар поездов по технологии виртуальной сцепки каждые 24 ч. Если новая практика зарекомендует себя так, как на это надеются представители железнодорожной транспортной системы, уже в ближайшем будущем каждый участок железнодорожной инфраструктуры сможет пропускать на 15 поездов больше, чем сейчас, и все это без модернизации и строительства новых путей.

Один из фундаментальных принципов функционирования современных железных дорог заключается в том, что попутно следующие поезда должны быть разделены достаточным интервалом, чтобы каждый поезд мог остановиться прежде, чем достигнет последнего известного положения хвоста впереди идущего поезда. Технология «виртуальная сцепка» предполагает, что поезда, входящие в объединенную группу, следуют друг за другом на расстоянии, меньшем тормозного пути, что связано с тем, что впереди идущий поезд не останавливается мгновенно. Техническим устройством, позволяющим реализовать рассматриваемую систему, является радиомодем, устанавливаемый как на ведущий, так и ведомый локомотив. Защищенный цифровой канал радиомодема позволит определить режимы вождения составов и сократить межпоездные интервалы.

Расстояние между составами задают не свободные светофорные участки, а поездные электронные системы управления: установленные на электровазях радиомодемы поддерживают связь между ведущим и ведомым поездами и по защищенному цифровому каналу передают режимы ведения составов. В результате увеличивается интенсивность поездопотока, т. е. если при классической схеме межпоездной интервал на участках железнодорожных линий может составлять 10–15 мин., то с новой технологией – 5 мин., а расстояние между поездами снижается с 4–5 км до 1,5.

Сложность заключается в том, что 4–5 составов имеют очень большую длину, и поэтому возникают трудности по передаче радиосигнала с головного локомотива к конечному, например, в условиях сложного профиля пути. Для увеличения дальности передачи информации предлагается использовать дополнительные стационарные цифровые радиостанции DMR в качестве ретрансляторов, которые могут обеспечить связь между пятью составами. Количество таких станций будет зависеть от рельефа местности, он тоже заметно влияет на распространение радиосигнала.

Эффективность внедрения интервального регулирования движения поездов по системе «виртуальная сцепка» представлена в работах [8–10], однако вопросы использования существующей инфраструктуры системы тягового энергоснабжения в них не рассмотрены.

### **Тяговый расчет грузовых поездов на участке Ачинск – Мариинск**

Обеспечение надежным электроснабжением тяги поездов и нетяговых потребителей, поддержание заданной пропускной и провозной способностей участков железнодорожных линий без перегрузки основных элементов, обеспечение нормативного качества электроэнергии с учетом использования рассматриваемой в рамках статьи системы позволит

обосновать целесообразность ее практического применения.

При расчетах допустимых межпоездных интервалов используется условный параллельный график движения с равномерным распределением поездов наибольшей и средней массы на каждом пути по всему участку. Учитывая, что в различные периоды времени наиболее загруженными являются только отдельные межподстанционные зоны и пути, расчеты по указанным графикам обеспечивают допустимый запас степени использования пропускной способности для компенсации внутрисуточных колебаний размеров движения [11–14].

На основании режимных карт в рамках представленной статьи рассмотрен расчетный участок железной дороги Мариинск – Ачинск, профиль пути которого представлен в программе «Кортес» (рис. 1).

Учет ограничений скорости представленного участка, которые как в четном и нечетном направлении составляют 80 км/ч., определяет токопотребление поезда. Представленные расчеты ориентированы на серию электровозов 2(3)ЭС5К ввиду их использования на рассматриваемом участке.

Представлены прогнозные значения весовых норм грузовых поездов и размеры движения грузовых поездов на 2025 г. (табл. 1).

Согласно проведенным научным исследованиям выполнены тяговые расчеты по представленному участку с целью определения величины тяговой нагрузки в системе электроснабжения. В расчетах

рассмотрены грузовые поезда повышенной и средней массы в четном и нечетном направлениях, выполнено моделирование движения соединенного поезда весовой нормой 12 600 т. На основании данных (см. табл. 1) выполнен расчет средней массы грузовых поездов для заданных весовых норм без учета количества поездов повышенной массы. Расчетное значение для участков железнодорожной линии составит:

– нечетное направление участка Мариинск – Ачинск

$$m_{cp} = \frac{4200 \cdot 19 + 3000 \cdot 10 + 3000 \cdot 1 + 1700 \cdot 10}{19 + 10 + 1 + 10} = 3245 \text{ т};$$

– четное направление участка Мариинск – Ачинск

$$m_{cp} = \frac{4200 \cdot 19 + 3000 \cdot 10 + 3000 \cdot 1}{19 + 10 + 1} = 3760 \text{ т.}$$

Перегонный расход энергии, удельный расход, время хода (полное и под током), максимальный перегрев обмоток двигателя и максимальный ток поезда, касательно расчетного участка, отдельно в четном и нечетном направлениях, представлены ниже (табл. 2).

По результатам тяговых расчетов, используя таблицу LVI Программного комплекса «Кортес», построены графики зависимости изменения полного тока от координаты поезда для рассматриваемых типов поездов в четном и нечетном направлении (рис. 2). Данные зависимости свидетельствуют о

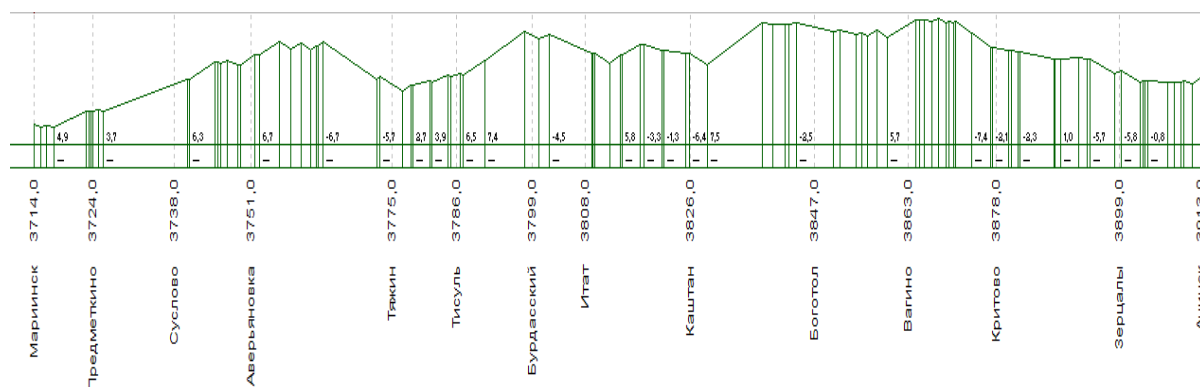


Рис. 1. Продольный профиль расчетного участка Мариинск – Ачинск

Fig. 1. Longitudinal profile of the rated section Mariinsk - Achinsk

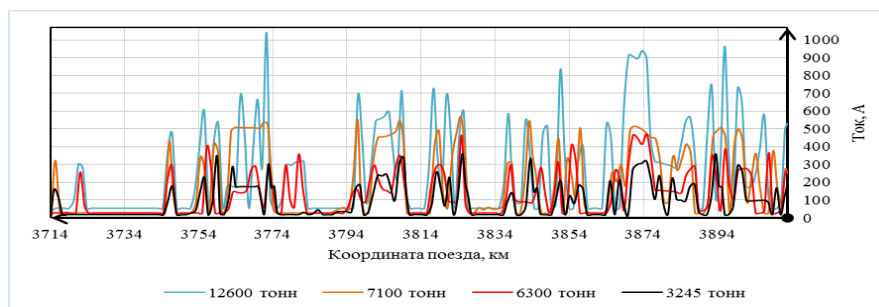
Таблица 1. Размеры движения грузовых поездов на 2025 г.

Table 1. Dimensions of freight train traffic for 2025

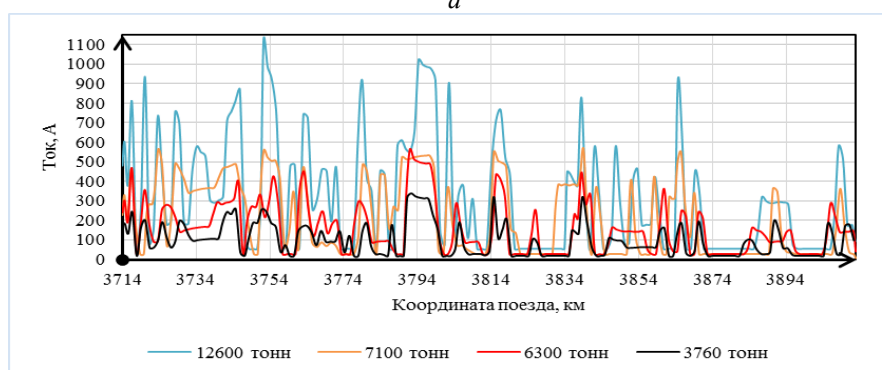
Наименование участка	Весовые нормы грузовых поездов, т	Размеры движения грузовых поездов, поезд./сут.	
		Туда	Обратно
Мариинск – Ачинск	7 100	7	1
	6 000–6 300	14	10
	4 000–4 200	19	19
	3 000	10	10
	3 000 кон.	1	1
	1 500–1 700 пор.	–	10
	Итого	51	51

**Таблица 2.** Тяговый расчет грузовых поездов на участке Ачинск – Мариинск  
**Table 2.** Traction calculation of freight trains at the Achinsk - Mariinsk section

Поезд	Масса, т	Время хода, мин.		Время хода, мин.		Расход энергии		Максимальный ток поезда, А	Максимальный перегрев обмоток двигателя, °С
		Полное	Под током	Активной, кВт·ч	Полной, кВА·ч	Активной, кВт·ч	Полной, кВА·ч		
Нечетный 2хЗЭС5К	12 600	167,7	80,3	16 169,8	18 654,5	6,4	7,7	1221 А на км 3772,78	51° на км 3868,61
Четный 2хЗЭС5К		170,4	96,0	20 028,5	22 989,6	8,0	9,2	1223 А на км 3752,53	60° на км 3799,72
Нечетный ЗЭС5К	7 100	171,6	82,4	12 416,3	14 118,1	8,8	10,0	612 А на км 3824,68	68° на км 3762,15
Четный ЗЭС5К		176,1	95,5	14 107,6	16 056,1	10,0	11,4	612 А на км 3752,75	83° на км 3799,14
Нечетный ЗЭС5К	6 300	168,2	83,5	7 776,2	9 004,9	6,2	7,2	558 А на км 3825,54	48° на км 3869,86
Четный ЗЭС5К		172,1	107,9	9 861,6	11 350,7	7,9	9,1	611 А на км 3791,65	58° на км 3799,10
Нечетный 2ЭС5К	3 245	175,4	75,8	6 266,6	7 209,8	9,7	11,2	408 А на км 3825,22	49° на км 3870,63
Четный 2ЭС5К	3 760	171,0	109,3	5 997,4	6 920,6	8,0	9,2	408 А на км 3791,28	51° на км 3798,56



а



б

**Рис. 2.** Графики зависимостей полного тока от координаты нечетных (а) и четных (б) поездов различных масс на участке Ачинск – Мариинск

**Fig. 2.** Graphs of the dependences of the total current on the coordinates of odd (a) and even (b) trains of various masses at the Achinsk - Mariinsk section

возможном пропуске всех рассмотренных категорий грузовых поездов с учетом параметров существующей системы энергоснабжения и класса изоляции тягового электрооборудования электровоза [15-18].

Выполнен расчет нагрузок и пропускной способности системы по графикам движения поездов для одиночного соединенного поезда массой 12 600 т и поезда в режиме «виртуальной сцепки» массой

**Таблица 3.** Основные характеристики рабочих режимов участка Мариинск – Ачинск  
**Table 3.** Main characteristics of operating modes of the Mariinsk - Achinsk section

Параметры		Тип поезда	Соединенный поезд	В режиме «виртуальная сцепка»
Температура воздуха, °С			20,00	20,00
Расход энергии	Активной, кВт·ч		3 7162	36 829
	Реактивной, квар·ч		7 596	6 397
Потери в тяговой сети, кВт·ч			1 129 (3,0 %)	754 (2,0 %)
Ограничивающий коэффициент нагрузки			1,27 (ЭЧЭ Каштан)	1,20 (ЭЧЭ Каштан)
Температура трансформаторного масла, °С			65 (ЭЧЭ Мариинск)	65 (ЭЧЭ Мариинск)
Напряжение, кВ	Минимальное		21,10 (2-й путь зоны Мариинск – Тяжин поезд № 2 на км 3 752,38 в 34 мин.)	23,04 (2-й путь зоны Тяжин – Каштан поезд № 4 на км 3 792,02 в 72 мин.)
	Среднее 3-мин.		21,81 (2-й путь зоны Мариинск – Тяжин поезд № 2 на км 3 754,62)	23,38 (2-й путь зоны Тяжин – Каштан поезд № 4 на км 3 794,2)
Ограничение температуры, °С	В контактной сети		21,00 (Ф4 ЭЧЭ Тяжин)	20,00 (Ф4 ЭЧЭ Тяжин)
	В отсасывающей линии		22,00 (ЭЧЭ Каштан)	21,00 (ЭЧЭ Каштан)

6 300 и 6 300 т. Интервал между поездами в режиме «виртуальной сцепки» был принят равным 4 мин. Основные характеристики рабочего режима участка Мариинск – Ачинск по результатам расчетов представлены далее (табл. 3).

Представленные параметры (см. табл. 3) свидетельствуют, что ограничивающий коэффициент нагрузки для двух типов поездов не выходит за пределы допустимого значения, а температура трансформаторного масла не превышает допустимую.

### Заключение

В результате исследования доказана целесообразность движения поездов в режиме «виртуальная сцепка», поскольку расход энергии, потери в тяговой сети, ограничивающий коэффициент нагрузки, температура в контактной сети и отсасывающей

линии ниже, чем при движении соединенного поезда. Напряжение в контактной сети при использовании поездов с виртуальной сцепкой значительно выше, чем при использовании соединенных поездов.

Технология «виртуальная сцепка» предполагает, что установленные на электровозах радиомодемы поддерживают связь между ведущим и ведомым поездами по защищенному цифровому каналу и передают энергооптимальные режимы ведения локомотивов, обеспечивающие минимально безопасный интервал следования поездов. В результате увеличивается пропускная способность участка: межпоездной интервал с новой технологией составит 5 мин., а расстояние между поездами сокращается до необходимого тормозного пути.

### Список литературы

1. Стратегия ОАО «РЖД»: стратегия развития до 2030 года. URL: <https://ar2018.rzd.ru/ru/strategic-report/strategy>. (дата обращения 19.11.2020).
2. ОАО «РЖД»: офиц. сайт. URL: <http://rzd.ru> (дата обращения 19.11.2020).
3. Таранец И. Цифровые технологии сократят время оформления перевозок в пять раз // Гудок. 2019. № 161. 05 сент. С. 1.
4. Климова Е. В., Пилипушка Л. Е., Рябов В. С. Технология «виртуальной сцепки» поездов как инструмент повышения провозной и пропускной способности линии // Транспортная инфраструктура Сибирского региона: сб. тр. Т. 1. Иркутск, 2019. С. 60-64.
5. Розентальс Е.М. Буйнова Н.В. Интервальное регулирование: инновации и перспективы развития: тематич. подборка. Красноярск: КрЦНТИБ, 2019. 232 с.

6. Черпанов А. В., Куцкий А. П., Есауленко А. С. Применение технологии виртуальной сцепки для поездов повышенной массы // Молодая наука Сибири : электрон. науч. журн. 2020. № 2. URL: <https://mnv.irkgups.ru/primenenie-tehnologii-virtualnoy-schepki-dlya-poezdov-povyshennoy-massy> (дата обращения 10.10.2020).
7. Белоголов Ю. И., Оленцевич В. А., Асташков Н. П. Совершенствование оперативного управления транспортными процессами на железнодорожном транспорте // Proceedings of 6th International Symposium on Innovation and Sustainability of Modern Railway ISMR 2018. Иркутск : ИрГУПС, 2018. С. 602–609.
8. Olentsevich V. A., Belogolov Yu. I., Kramynina G. N. 2019 Set of organizational, technical and reconstructive measures aimed at improvement of section performance indicators based on the study of systemic relations and regularities of functioning of railway transport system // IOP Conf. Series : materials Science and Engineering 832. DOI: 10.1088/1757-899X/832/1/012038.
9. Шмакова К.А., Киреева Е.С., Оленцевич В.А. Комплексное развитие и модернизация ждтс, как одно из главенствующих направлений развития транспортного комплекса // Молодая наука Сибири. 2019. № 3 (5). С. 11-17.
10. Olentsevich V.A., Belogolov Yu.I., Grigoryeva N.N. Analysis of reliability and sustainability of organizational and technical systems of railway transportation process // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. DOI: 10.1088/1757-899X/832/1/012061.
11. Технологический процесс Диспетчерского центра управления перевозками Красноярской дирекции управления движением - филиала ОАО «РЖД» / А.С. Туманин, Красноярск, 2019. 94 с.
12. Расчет пропускной способности железных дорог / Е. В. Архангельский, Н. А. Воробьев, Н. А. Дроздов и др. М. : Транспорт, 1977. 310 с.
13. Оленцевич В.А., Асташков Н.П. Методы привлечения клиентов к услугам транспортно-логистического бизнес-блока в целях увеличения конкурентоспособности холдинга ОАО "РЖД" // Транспортная инфраструктура Сибирского региона : сб. тр. Иркутск, 2019. Т. 1. С. 4-8.
14. Астраханцев Л. А., Астраханцева Н. М., Асташков Н. П. Разработка ресурсосберегающих электрифицированных технологических процессов // Вестник КрасГАУ. 2012. № 8 (71). С. 166-169.
15. Гозбенко В.Е., Иванков А.Н., Колесник М.Н., Пашкова А.С. Методы прогнозирования и оптимизации транспортной сети с учетом мощности пассажира и грузопотоков. Деп. 17.04.2008, № 330-В2008.
16. Повышение электромагнитной совместимости подвижного состава / Л.А. Астраханцев, Н.П. Асташков, Н.Л. Рябченко и др. // Безопасность регионов – основа устойчивого развития : сб. тр. Иркутск, 2012. Т. 1-2. С. 92-94.
17. Астраханцев Л.А., Алексеева Т.Л., Рябченко Н.Л. Энергосбережение в электротехническом комплексе транспортных средств // Транспорт-2012 : тр. Всерос. науч.-практ. конф. 2012. С. 408-410.
18. Energy-saving driving of heavy trains / N. Ryabchenok, T. Alekseeva, L. Astrakhancev et al. // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. Т. 982. С. 491-508.
19. Гозбенко В.Е., Крипак М.Н., Иванков А.Н. Совершенствование транспортно-экспедиционного обслуживания грузовладельцев. Иркутск : Изд-во ИрГУПС, 2011. 229 с.

### References

1. Strategiya razvitiya Kholdinga «RZhD» na period do 2030 goda [Development strategy of the Russian Railways Holding for the period up to 2030]. Moscow: RZD OAO Publ., 20.12.2013.
2. Ofitsial'nyi sait ОАО «RZhD» [Official website of Russian Railways OAO] [Electronic media]. URL: <http://rzd.ru>
3. Taranets I. Tsifrovyye tekhnologii sokratyat vremya oformleniya perevozok v pyat' raz [Digital technologies will reduce the transportation registration time five times]. *Gazeta «Gudok»* [Gudok newspaper], 2019.
4. Klimova E. V., Pilipushka L. E., Ryabov V. S. Tekhnologiya "virtual'noi stsepki" poezdov kak instrument povysheniya provoznoi i propusknoi sposobnosti linii [Technology of "virtual coupling" of trains as a tool for increasing the throughput and carrying capacity of the line]. *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona* [Transport infrastructure of the Siberian region], Vol. 1. Irkutsk: IrGUPS Publ., 2019. Pp. 60-64.
5. Rozental's E. M., Buinova N. V. Interval'noe regulirovanie: innovatsii i perspektivy razvitiya: tematicheskaya podborka [Train separation: innovations and development prospects: a thematic collection]. Shavyrkina E. V. (releaser). Krasnoyarsk: KrTsNTIB Publ., 2019, 232 p.
6. Cherpanov A. V., Kutsyi A. P., Esaulenko A. S. Primenenie tekhnologii virtual'noi stsepki dlya poezdov povyshennoy massy [Application of virtual coupling technology for trains of increased mass]. *Molodaya nauka Sibiri: elektron. nauch. zhurn* [Young science of Siberia: an electronic academic journal], 2020. No. 2.
7. Belogolov Yu. I., Olentsevich V. A., Astashkov N. P. Sovershenstvovanie operativnogo upravleniya transportnymi protsessami na zheleznodorozhnom transporte [Improving the operational management of transport processes in railway transport]. *Proceedings of 6th International Symposium on Innovation and Sustainability of Modern Railway ISMR 2018*. Irkutsk: ISTU Publ., 2018. p. 602–609.
8. Olentsevich V. A., Belogolov Yu. I., Kramynina G. N. Set of organizational, technical and reconstructive measures aimed at improvement of section performance indicators based on the study of systemic relations and regularities of functioning of railway transport system. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 832 (2020) 012038
9. Shmakova K.A., Kireeva E.S., Olentsevich V.A. Kompleksnoe razvitiye i modernizatsiya zhdts, kak odno iz glavenstvuyushchikh napravleniy razvitiya transportnogo kompleksa [Complex development and modernization of railway transport as one of the main directions of development of the transport system]. *Molodaya nauka Sibiri* [Young science of Siberia], 2019. No. 3 (5). Pp. 11-17.
10. Olentsevich V.A., Belogolov Yu.I., Grigoryeva N.N. Analysis of reliability and sustainability of organizational and technical systems of railway transportation process. *In coll.: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020. P. 012061.

11. Tumanin A.S. Tekhnologicheskii protsess Dispetcherskogo tsentra upravleniya perevozkami Krasnoyarskoi direksii upravleniya dvizheniem - filiala OAO «RZhD» [Technological process of the traffic control center of the Krasnoyarsk traffic control directorate - a branch of Russian Railways OAO], 2019. 94 p.
12. Arkhangel'skii E. V., Vorob'ev N. A., Drozdov N. A., Miroschnichenko R. I. et al. Raschet propusknoi sposobnosti zheleznnykh dorog [Calculation of the throughput capacity of railways]. 2nd ed., revised and enlarged. Moscow: Transport Publ., 1977, 310 p.
13. Olentsevich V.A., Astashkov N.P. Metody privlecheniya klientov k uslugam transportno - logisticheskogo biznes-bloka v tselyakh uvelicheniya konkurentosposobnosti kholdinga OAO "RZhD" [Methods of attracting customers to the services of the transport and logistics business block in order to increase the competitiveness of the Russian Railways holding company]. *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona* [Transport infrastructure of the Siberian region], 2019. Vol. 1. Pp. 4-8.
14. Astrakhantsev L. A., Astrakhantseva N. M., Astashkov N. P. Razrabotka resursosberegayushchikh elektrifitsirovannykh tekhnologicheskikh protsessov [Development of resource-saving electrified technological processes]. *Vestnik KrasGAU* [The Bulletin of KrasGAU], 2012. No. 8 (71). Pp. 166-169.
15. Gozbenko V.E., Ivankov A.N., Kolesnik M.N., Pashkova A.S. Metody prognozirovaniya i optimizatsii transportnoi seti s uchetom moshchnosti passazhiro i gruzopotokov. Deponirovannaya rukopis' No. 330-V2008 17.04.2008 [Methods for predicting and optimizing the transport network, taking into account the capacity of passenger and freight traffic. Deposited manuscript No. 330-B2008 17.04.2008].
16. Astrakhantsev L. A., Astashkov N. P., Ryabchenok N. L., Alekseeva T. L., Astrakhantseva N. M. Povyshenie elektromagnitnoi sovmestimosti podvizhnogo sostava [Increasing the electromagnetic compatibility of rolling stock]. *Bezopasnost' regionov – osnova ustoychivogo razvitiya* [Safety of regions is the basis of sustainable development], 2012. Vol. 1-2. Pp. 92-94.
17. Astrakhantsev L.A., Alekseeva T.L., Ryabchenok N.L. Energoberezhenie v elektrotekhnicheskome komplekse transportnykh sredstv. [Energy saving in the electrotechnical complex of vehicles]. *V sbornike: TRANSPORT-2012. Trudy vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii: v 3-kh chastyakh* [In the collection: TRANSPORT-2012. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference: in 3 parts], 2012. Pp. 408-410.
18. Ryabchenok N., Alekseeva T., Astrakhantsev L., Astashkov N., Tikhomirov V. Energy-saving driving of heavy trains. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2020. Vol. 982. Pp. 491-508.
19. Gozbenko V.E., Kripak M.N., Ivankov A.N. Sovershenstvovanie transportno-ekspeditsionnogo obsluzhivaniya gruzovladel'tsev [Improvement of freight forwarding services for cargo owners]. Irkutsk, 2011.

#### Информация об авторах

**Асташков Николай Павлович** – к. т. н., доцент; кафедры управление эксплуатационной работой, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: astashkovnp@yandex.ru

**Оленцевич Виктория Александровна** – к. т. н., доцент; доцент кафедры управление эксплуатационной работой, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: olencevich\_va@irgups.ru

**Белозолов Юрий Игоревич** – к. т. н., доцент; доцент кафедры управление эксплуатационной работой, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: pr-mech@mail.ru

**Кашковский Виктор Владимирович** – д. т. н., с. н. с., профессор кафедры «Информационные системы и защита информации», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: kww542339@km.ru

#### Information about the authors

**Nikolai P. Astashkov** – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor; Associate Professor of the Subdepartment of Operations Management, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: astashkovnp@yandex.ru

**Victoria A. Olentsevich** – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor; Associate Professor of the Subdepartment of Operations Management, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: olencevich\_va@irgups.ru

**Yuriy I. Belogolov** – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor; Associate Professor of the Subdepartment of Operations Management, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: pr-mech@mail.ru

**Viktor V. Kashkowsky** – D.Sc. (Eng), professor of the department "Information systems and information security", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: kww542339@km.ru

DOI 10.26731/1813-9108.2020.3(67).180-189

УДК 620.91

## Применение схем фазовой автоподстройки частоты в измерительных органах тока и напряжения микропроцессорных устройств релейной защиты

К. В. Менакер<sup>1</sup>, М. В. Востриков<sup>1</sup>, В. А. Тихомиров<sup>2</sup>✉

<sup>1</sup> Забайкальский институт железнодорожного транспорта, г. Чита, Российская Федерация

<sup>2</sup> Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

✉ tikhomirov\_va@irgups.ru

#### Резюме

В статье рассматривается возможность реализации схем фазовой автоподстройки частоты в измерительных органах тока и напряжения микропроцессорных устройств релейной защиты. Показано, что применение схем фазовой автоподстройки частоты вместо цифровых фильтров позволяет достоверно выделить первую гармонику измеряемого сигнала, отсле-