

научно-технический

ISSN 2220-4245  
журнал

# ИЗВЕСТИЯ

№ 4(24)

2015

# Транссиб



## РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ ЖУРНАЛА

1. **Овчаренко Сергей Михайлович** – главный редактор, ректор ОмГУПС, д.т.н., доцент.
2. **Галиев Ильхам Исламович** – зам. главного редактора, президент ОмГУПС, д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ.
3. **Шантаренко Сергей Георгиевич** – зам. главного редактора, проректор по научной работе ОмГУПС, д.т.н., доцент.
4. **Черемисин Василий Титович** – зам. главного редактора, директор НИИЭ ОмГУПС, д.т.н., профессор.
5. **Бокарев Сергей Александрович** – проректор по научной работе СГУПС, д.т.н., профессор (Новосибирск).
6. **Глинка Тадеуш** – доктор, профессор Силезского политехнического университета (Гливице, Польша).
7. **Демин Юрий Васильевич** – профессор кафедры «Электрооборудование и автоматика» СГУВТа, д.т.н., профессор (Новосибирск).
8. **Камаев Валерий Анатольевич** – зав. кафедрой «Системы автоматизированного проектирования» ВолГТУ, д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ (Волгоград).
9. **Карганольцев Сергей Константинович** – проректор по научной работе ИрГУПС, д.т.н., профессор (Иркутск).
10. **Косарев Александр Борисович** – зам. генерального директора ОАО «ВНИИЖТ», д.т.н., профессор (Москва).
11. **Лю Цзянькунь** – доктор, профессор Пекинского транспортного университета, Школа строительства (Пекин, Китай).
12. **Сидоров Олег Алексеевич** – зав. кафедрой «Электроснабжение железнодорожного транспорта» ОмГУПС, д.т.н., профессор.
13. **Солоненко Владимир Гельевич** – профессор кафедры «Вагоны» КазАТК, д.т.н., профессор (Алматы, Республика Казахстан).
14. **Файзибаев Шерзод Сабирович** – проректор по научной работе ТашИИТа, д.т.н., профессор (Ташкент, Республика Узбекистан).
15. **Харламов Виктор Васильевич** – зав. кафедрой «Электрические машины и общая электротехника» ОмГУПС, д.т.н., профессор.

## EDITORIAL BOARD

1. **Ovcharenko Sergey Mikhailovich** – chief editor, the rector of OSTU, D. Sc., associate professor (Omsk, Russia).
2. **Galiiev Ilkham Islamovich** – deputy chief editor, the president of OSTU, D. Sc., professor, the honored worker of science and engineering of the Russian Federation (Omsk, Russia).
3. **Shantarenko Sergey Georgievich** – deputy chief editor, vice-rector for research of OSTU, D. Sc., associate professor (Omsk, Russia).
4. **Cheremisin Vasily Titovich** – deputy chief editor, director of SRIE OSTU, D. Sc., professor (Omsk, Russia).
5. **Bokaryov Sergey Alexandrovich** – vice-rector for research of SSTU, D. Sc., professor (Novosibirsk, Russia).
6. **Glinka Tadeusz** – Ph. D., professor of Silesian University of Technology (Gliwice, Polish).
7. **Demin Yuriy Vasilyevich** – professor of the department «Electrical equipment and automation» of SSUWT, D. Sc., professor (Novosibirsk, Russia).
8. **Kamaev Valery Anatolyevich** – head of the department «Systems of automated designing» of VSTU, D. Sc., professor, the honored worker of science of the Russian Federation (Volgograd, Russia).
9. **Kargapol'tsev Sergey Konstantinovich** – vice-rector for research of ISTU, D. Sc., professor (Irkutsk, Russia).
10. **Kosarev Alexander Borisovich** – deputy of general director of JSC «VNIIZhT» (Railway Research Institute), D. Sc., professor (Moscow, Russia).
11. **Liu Jiankun** – Ph. D., professor of Beijing Jiaotong University, School of Civil Engineering (Beijing, China).
12. **Sidorov Oleg Alexeevich** – head of the department «Power supply of rail transport» of OSTU, D. Sc., professor (Omsk, Russia).
13. **Solonenko Vladimir Gelyevich** – professor of the department «Wagons» of KazATC, D. Sc., professor (Almaty, Kazakhstan).
14. **Fayzibaev Sherzod Sabirovich** – vice-rector for research of TashIRE, D. Sc., professor (Tashkent, Uzbekistan).
15. **Kharlamov Viktor Vasilyevich** – head of the department «Electrical machines and common electrotechnic» of OSTU, D. Sc., professor (Omsk, Russia).

Захаренко Елена Игоревна – ответственный секретарь (Омск).

## СОДЕРЖАНИЕ

### Подвижной состав железных дорог

- Абляимов О. С. Анализ эффективности использования локомотивной тяги на равнинном участке железной дороги ..... 2
- Белоглазов А. К., Носков В. О., Чулков А. В. Влияние температуры окружающей среды на работу системы охлаждения тепловоза и его агрегатов ..... 11
- Заренков С. В., Чертков И. Е. Совершенствование предохранительных устройств скоростных токоприемников ..... 17
- Иванов П. Ю., Дульский Е. Ю., Романовский А. И. Эксплуатационные особенности работы асинхронных вспомогательных машин электровозов переменного тока на ВСЖД ..... 27
- Костюков В. Н., Казарин Д. В., Костюков А. В., Зайцев А. В. Совершенствование диагностического обеспечения подшипниковых узлов колесно-моторных блоков электропоездов ..... 33
- Кузнецов А. А., Рауба А. А., Дюндин В. В. Аналитические возможности АЭС спектрометрии при комплексном контроле дефектов рельсового пути ..... 39
- Нехаев В. А., Николаев В. А. Некоторые математические аспекты исследования «жесткой» динамической модели, описывающей взаимодействие колеса и рельса ..... 45
- Смолянинов В. С., Смолянинов А. В. Обоснование конструктивных параметров технологической оснастки для ремонта деталей подвижного состава с учетом размерных связей сборочной единицы ..... 56
- Харламов В. В., Шкодун П. К., Шестаков И. В. Автоматизированная система комплексной диагностики состояния изоляции тяговых электродвигателей ..... 62

### Транспортная энергетика

- Никифоров М. М., Незевак В. Л. Нормативно-правовое обеспечение деятельности по энергосбережению в холдинге «Российские железные дороги» ..... 68

### Информационные технологии, автоматика, связь, телекоммуникации

- Коваленко О. Н. Прогнозирование коэффициента Хэрста с помощью аналитических методов ..... 75

### Путь и искусственные сооружения

- Карпушенко Н. И., Быстров А. В., Труханов П. С. Определение норм расхода материалов на текущее содержание пути ..... 81
- Эргашев У. Э., Бегматов Н. И. Исследование прочностных характеристик лёссовидных грунтов при действии вибродинамической нагрузки, возникающей при движении поездов со скоростями 200 – 250 км/ч ..... 89

### Управление перевозочными процессами и безопасность движения поездов

- Галиев И. И., Гателюк О. В., Лукс Д. Ю., Ушак В. Н. Сравнительная оценка динамической нагруженности полувагона с разными типами тележек (18-100 и 18-9810) ..... 95
- Елисеев А. В., Елисеев С. В., Сигачев Н. П. Обоснование и развитие обобщенного подхода к моделированию динамических взаимодействий в технологических процессах вибрационного упрочнения поверхностей деталей транспортных машин ..... 103

### АННОТАЦИИ ..... 113

Научно-технический журнал «Известия Транссиба»

Учредитель: Омский государственный университет путей сообщения

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35

Тел./факс: (3812) 31-13-44; e-mail: nauka@omgups.ru

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛОКОМОТИВНОЙ ТЯГИ НА РАВНИННОМ УЧАСТКЕ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

*Представлены результаты исследований по оценке эффективности использования локомотивов дизельной (тепловозы ТЭ10М, УзТЕ16МЗ) и электрической (электровозы ВЛ80<sup>С</sup>) тяги на равнинном участке железной дороги методом осреднения расчетных величин. Приведены усредненные значения основных показателей перевозочной работы исследуемых локомотивов ТЭ10М, УзТЕ16МЗ и ВЛ80<sup>С</sup> в виде табличных данных и графических зависимостей, представляющие собой среднеарифметические величины с учетом движения грузовых поездов без остановок и с остановками на промежуточных станциях, разъездах и отдельных пунктах, которые были получены в результате выполненных тяговых расчетов для различных условий организации грузового движения. Обозначены уравнения регрессии для организации вычисления значений упомянутых показателей в принятом диапазоне изменения масс составов.*

Одним из путей повышения топливно-энергетической эффективности использования локомотивов дизельной и электрической тяги АО «Ўзбекистон темир йўллари» в условиях эксплуатации является пополнение (обновление) эксплуатируемого парка тягового подвижного состава наиболее высокопроизводительными тепловозами и электровозами.

Успешное решение этой задачи напрямую связано с модернизацией существующих и приобретением новых, перспективных типов (серий) локомотивов, что позволит повысить эксплуатационную надежность локомотивного парка и эффективность тяги поездов на действующих и вновь строящихся (или уже построенных) железнодорожных линиях и участках с учетом разнообразных условий организации перевозочной работы тягового подвижного состава.

В настоящее время часть эксплуатируемого парка тягового дизельного и электрического подвижного состава АО «Ўзбекистон темир йўллари» уже укомплектована (и в дальнейшем будет доукомплектовываться) такими магистральными (поездными) локомотивами «нового» поколения: грузовыми тепловозами УзТЕ16М в различном секционном исполнении (модернизация, Узбекистан), пассажирскими тепловозами ТЭП70 БС (Россия), грузовыми, грузо-пассажирскими и грузовыми электровозами «Узбекистан» (Китайская Народная Республика – Узбекистан), посредством которых организуется движение грузовых и пассажирских поездов на различных участках железных дорог.

На основе комплексной программы развития и модернизации железнодорожной отрасли Узбекистана к началу 2016 г. прогноз ожидаемого увеличения объема перевозок грузов, в том числе транзитных, внутригосударственных и экспортно-импортных перевозок, будет составлять 31,2 % со среднегодовым ростом, равным 5,5 %.

Диаграмма ожидаемого роста грузовых перевозок в тысячах тонн брутто обозначена на рисунке 1, реализация которых организуется магистральным (поездным) локомотивным парком, составляющим приблизительно 70,6 % всего эксплуатируемого парка локомотивов дизельной и электрической тяги АО «Ўзбекистон темир йўллари». Структура распределения локомотивов по видам тяги и роду выполняемой работы показана на рисунке 2, согласно которой на грузовые электровозы ВЛ80<sup>С</sup>, «Узбекистан» и грузовые тепловозы ТЭ10М, УзТЕ16М в различном секционном исполнении приходится соответственно примерно 22,67 и 74,54 % выполнения всего объема грузовых перевозок.

Однако теоретические и экспериментальные научные исследования, посвященные тягово-энергетическому обеспечению перевозочного процесса, повышению эксплуатационной надежности и эффективности использования тягового дизельного и электрического подвижного состава в различных условиях эксплуатации, для разных видов локомотивной тяги в частности, продолжают оставаться весьма актуальными задачами железнодорожной отрасли Узбекистана, которые были обозначены в комплексном плане ее развития и модернизации.

Поэтому можно запланировать определенный круг научных исследований в области разработки комплексных мероприятий и рекомендаций, направленных на модернизацию существующих и создание новых типов (серий) локомотивов, а также на совершенствование процессов их эксплуатации, технического обслуживания и ремонта.

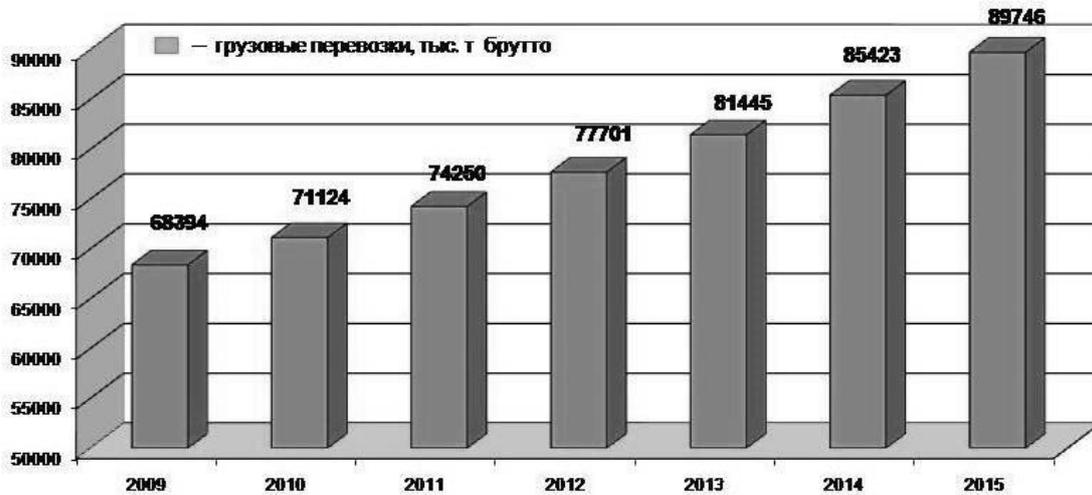


Рисунок 1 – Изменение объема грузовых перевозок в тысячах тонн брутто на железных дорогах АО «Ўзбекистон темир йўллари»

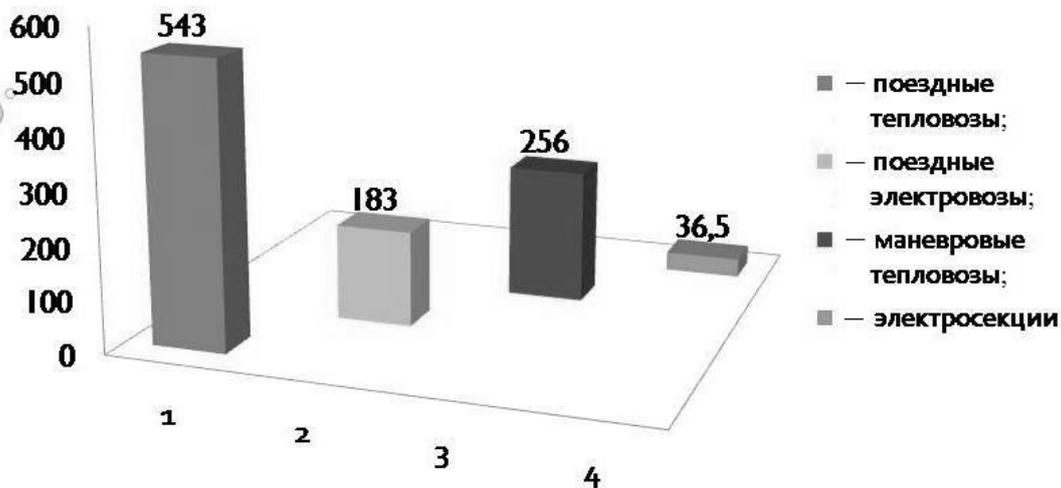


Рисунок 2 – Эксплуатируемый парк локомотивов железнодорожной отрасли Узбекистана в секционном исчислении: 1, 3 – дизельная тяга, грузовые и пассажирские перевозки, движение маневровое; 2, 4 – электрическая тяга, грузовые и пассажирские перевозки, движение пригородное

Реализация изложенного выше достигается разными путями и затрагивает специфические вопросы повышения качества ремонтного производства на линейных локомотиворемонтных предприятиях железнодорожного транспорта, эксплуатационной надежности тягового дизельного и электрического подвижного состава, а также высокого профессионализма в производственной деятельности специалистов локомотивного хозяйства и других структурных подразделений АО «Ўзбекистон темир йўллари», работа которых связана с функционированием силовых энергетических установок локомотивов, их основного и вспомогательного оборудования и напрямую сопряжена с организацией перевозочного процесса магистральных (поездных) грузовых локомотивов и движением поездов на различных участках железных дорог.

На кафедре «Локомотивы и локомотивное хозяйство» ТашИИТа проводятся исследования по изучению топливно-энергетической эффективности использования магистральных

(поездных) грузовых локомотивов дизельной и электрической тяги разных серий (типов) на действующих и новых, вновь строящихся железнодорожных линиях и участках АО «Ўзбекистонтемир йўллари» с учетом разнообразных условий организации перевозочной работы упомянутых локомотивов.

Настоящие исследования посвящены обоснованию параметров основных показателей перевозочной работы и анализу топливно-энергетической эффективности использования магистральных (поездных) локомотивов дизельной и электрической тяги при вождении грузовых поездов на виртуальном равнинном участке железной дороги и оценке влияния обозначенных параметров на стоимость (себестоимость) железнодорожных перевозок.

Объектом исследования являются трехсекционные магистральные (поездные) грузовые тепловозы серии ЗТЭ10М, УзТЕ16МЗ и электровозы ЗВЛ80<sup>С</sup>, а также спрямленный профиль пути виртуального равнинного участка железнодорожной линии.

Предмет исследования составляют основные показатели перевозочной работы и параметры топливно-энергетической эффективности использования трехсекционных магистральных (поездных) грузовых локомотивов разных видов тяги (тепловозы ЗТЭ10М, УзТЕ16МЗ и электровозы ЗВЛ80<sup>С</sup>) с учетом приведенных расходов дизельного топлива и электрической энергии на тягу поездов в количественном и денежном выражении на заданном виртуальном равнинном участке железной дороги.

Методика исследований, опираясь на известные методы теории локомотивной тяги [1] и исходные данные для расчетов из работ [2, 3], заключается в разработке математических моделей ведения грузового поезда трехсекционными магистральными (поездными) тепловозами ЗТЭ10М, УзТЕ16МЗ и электровозами ЗВЛ80<sup>С</sup>, базовой составляющей которых являются тяговые качества (свойства) и различные условия организации перевозочной работы упомянутых локомотивов на заданном виртуальном равнинном участке железнодорожного пути.

Данный железнодорожный участок протяженностью 45,9 км состоит из двух перегонов [4], спрямленный профиль звеньевоего пути которого представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Спрямленный профиль пути виртуального равнинного участка железной дороги

|                           |      |       |       |      |       |       |       |      |      |
|---------------------------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|------|
| Номер элемента            | 1    | 2     | 3     | 4    | 5     | 6     | 7     | 8    | 9    |
|                           | 10   | 11    | 12    | 13   | 14    | 15    | 16    | 17   | 18   |
| Крутизна элемента $i$ , ‰ | -1,5 | +1,42 | +1,76 | +6,5 | +0,99 | -10,0 | -1,33 | +1,0 | +4,8 |
|                           | 0    | -3,0  | -2,28 | 0    | +1,5  | +3,5  | +0,9  | 0    | -    |
| Длина элемента $S$ , м    | 1700 | 4800  | 2800  | 7000 | 2100  | 1400  | 1800  | 1600 | 1500 |
|                           | 1500 | 7200  | 2500  | 2500 | 1600  | 900   | 3200  | 1800 | -    |

Упомянутый профиль пути содержит 17 элементов и 13 из них с крутизной уклонов в интервале от +3,0 ‰ до -3,0 ‰, включая площадки  $i = 0$ , составляет приблизительно 76,47 % от общей длины рассматриваемого участка, что по характеру профиля пути классифицирует его как «равнинный» первого типа.

На основании анализа профиля пути видно – наиболее «тяжелым» является четвертый элемент, который принимаем за расчетный подъем длиной  $S_p = 7000$  м и крутизной  $i_p = +6,5$  ‰, а шестой элемент, имеющий уклон  $i_{сп} = -10,0$  ‰ длиной  $S_{сп} = 1400$  м – руководящий спуск. Грузовые поезда, обращающиеся на этом виртуальном равнинном участке железной дороги, состоят из 50 четырехосных вагонов на подшипниках качения с дифференциацией массы составов в диапазоне от  $Q_1 = 2500$  т до  $Q_3 = 3500$  т. Ограничения наибольшей допустимой скорости движения грузового поезда по перегонам участка на проход и по входным стрелкам станции, на которой предусматривается остановка, принимаются равными соответственно 100 и 50 км/ч. Постоянные и временно действующие предупреждения об ограничении скорости движения грузового поезда отсутствуют. Тормозные колодки чугунные –  $\nu_p = 0,33$  кН/кН, а длина приемоотправочных путей  $l_{поп}$  составляет 1050 м.

Движение грузовых поездов на заданном виртуальном равнинном участке организовано локомотивами дизельной и электрической тяги с остановками и без остановок на промежу-

точной станции – трехсекционными магистральными (поездными) тепловозами 3ТЭ10М и UzTE16M3, электровозы 3ВЛ80<sup>С</sup>.

Трехсекционные магистральные грузовые электровозы 3ВЛ80<sup>С</sup> составляют приблизительно 70 % электровозного парка железнодорожной компании Узбекистана. Конструктивными особенностями этих электровозов являются ступенчатое контакторное регулирование напряжения коллекторных тяговых электродвигателей последовательного возбуждения, электрическое реостатное торможение и система, обеспечивающая управление тремя однотипными секциями по системе многих единиц (СМЕ).

Модернизированный трехсекционный магистральный грузовой тепловоз 3ТЭ10М оснащен микропроцессорной системой регулирования мощности дизель-генератора УСТА-75-02 (унифицированная система тепловозной автоматики), системой КЛУБ-У (комплексное локомотивное устройство безопасности) и унифицированным пультом управления (УПУ). Кроме этого с целью обеспечения управления и контроля параметров на трех секциях в электрическую схему базового тепловоза 2ТЭ10М внесены изменения в соединения интерфейсов, пультов управления каждой секции и систем подготовки пуска, пуска дизеля и пожарной сигнализации.

Конструктивным отличием модернизированного трехсекционного магистрального грузового тепловоза UzTE16M3 от упомянутого тепловоза 3ТЭ10М является использование «новой» силовой энергетической установки – дизель-генератора 1А-9ДГ с дизелем 1А-5Д49 третьего исполнения, который отличается от дизеля 10Д100 главным образом экономичностью [4] и более высокой надежностью систем, узлов и агрегатов в условиях эксплуатации. Удельный расход топлива у дизеля 1А-5Д49 третьего исполнения на режиме номинальной мощности (2206 кВт) составляет 208 г/(кВт·ч), а в режиме холостого хода расход дизельного топлива – 14 кг/ч. Аналогичные параметры для дизеля 10Д100 составляют соответственно 286 г/(кВт·ч) и 22,8 кг/ч.

Для реализации оценки топливно-энергетической эффективности использования трехсекционных магистральных грузовых тепловозов 3ТЭ10М, UzTE16M3 и электровозов 3ВЛ80<sup>С</sup> на заданном виртуальном равнинном участке железнодорожного пути воспользуемся методом осреднения расчетных величин [5], т. е. параметров некоторых основных показателей перевозочной работы этих локомотивов на упомянутом участке, где движение грузовых поездов было организовано без остановок и с остановками на промежуточных станциях с учетом дифференциации массы составов на величину  $\Delta Q = 500$  т в диапазоне от  $Q_1 = 2500$  т до  $Q_3 = 3500$  т и постоянным числом осей в составе  $m = 200$  осей.

Основу метода осреднения расчетных величин составляют усредненные значения показателей движения грузовых поездов и перевозочной работы тепловозов UzTE16M3, 3ТЭ10М и электровозов 3ВЛ80<sup>С</sup>, которые определяются как величины среднеарифметические для обоих видов движения в принятом нами диапазоне изменения массы составов (от 2500 до 3500 т) с учетом последующего сопоставления (сравнения) упомянутых выше значений между собой. Последнее обстоятельство позволит анализировать качественную составляющую выполнения перевозочного процесса тепловозами UzTE16M3, 3ТЭ10М и электровозами 3ВЛ80<sup>С</sup> на заданном виртуальном равнинном участке железнодорожного пути.

Эти утверждения справедливы и весьма объективно обосновываются многочисленными исследованиями [2 – 5, 7, 8 и др.] по вопросам изучения эффективности использования разных типов (серий) магистральных (поездных) локомотивов в эксплуатации для широкого диапазона разнообразных условий организации грузового движения.

Для реализации оценки энергетической эффективности использования и сравнения между собой основных показателей электрической и дизельной тяги на виртуальном равнинном участке железной дороги, опираясь на усредненные значения показателей перевозочной работы исследуемых трехсекционных магистральных (поездных) грузовых локомотивов – электровозов 3ВЛ80<sup>С</sup> и тепловозов 3ТЭ10М, UzTE16M3, воспользуемся рекомендациями [1, 6] и результатами исследований [2, 3].

Аналогично выводам работы [7] обобщающими критериями упомянутых выше оценок и сравнений принимаем приведенные затраты денежных средств на один километр железнодорожного пути, которые будут эквивалентны удельной стоимости перевозок грузов и связаны только с расходом топливно-энергетических ресурсов на тягу поездов, и коэффициент  $K_3$  оценки эффективности использования различных видов локомотивной тяги.

В таблице 2 представлены усредненные данные о технической скорости движения и времени хода грузовых поездов для различных режимов их ведения и, соответственно, разнообразных условий организации грузового движения (варианты тягового расчета), а также об израсходованном количестве дизельного топлива тепловозами и электрической энергии электровозами за поездку на виртуальном равнинном участке железнодорожного пути, где цифры с индексом \* – это значения с учетом налога на добавленную стоимость (НДС).

Таблица 2 – Основные показатели перевозочной работы локомотивов дизельной и электрической тяги на равнинном участке железнодорожного пути

| Вариант тягового расчета       | Техническая скорость движения $V_T$ , км/ч | Время хода поезда, мин |                     |  | Расход и стоимость дизельного топлива |                          |                               | Расход и стоимость электроэнергии |                             |                               |
|--------------------------------|--|------------------------|---------------------|--|---------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
|                                |  | общее $t_x$            | в режиме тяги $t_T$ | в режиме холостого хода и торможения $t_{x,x,T}$ | общий $E$ , кг                        | полная $C_T$ , тыс. с\ум | удельная $c_T$ , тыс. с\ум/км | общий $A$ , кВт\ч                 | полная $C_3$ , тыс. с\ум    | удельная $c_3$ , тыс. с\ум/км |
| Тепловозы UzTE16M3             |  |                        |                     |  |                                       |                          |                               |                                   |                             |                               |
| 1                              | 83,90                                      | 32,96                  | 17,48               | 15,48  | 406,50                                | 719,68                   | 15,68                         | –                                 | –                           | –                             |
| 2                              | 80,64                                      | 34,25                  | 20,75               | 13,50  | 479,30                                | 848,58                   | 18,42                         | –                                 | –                           | –                             |
| 3                              | 78,49                                      | 35,20                  | 24,10               | 11,10  | 553,52                                | 979,99                   | 21,35                         | –                                 | –                           | –                             |
| Тепловозы 3ТЭ10М               |  |                        |                     |  |                                       |                          |                               |                                   |                             |                               |
| 1                              | 83,90                                      | 32,96                  | 17,48               | 15,48  | 458,00                                | 810,87                   | 17,66                         | –                                 | –                           | –                             |
| 2                              | 80,64                                      | 34,25                  | 20,75               | 13,50  | 538,29                                | 953,01                   | 20,76                         | –                                 | –                           | –                             |
| 3                              | 78,49                                      | 35,20                  | 24,10               | 11,10  | 619,97                                | 1097,6                   | 23,91                         | –                                 | –                           | –                             |
| Электровозы 3ВЛ80 <sup>С</sup> |  |                        |                     |  |                                       |                          |                               |                                   |                             |                               |
| 1                              | 84,28                                      | 32,75                  | 16,90               | 15,85  | –                                     | –                        | –                             | 2116,8                            | $\frac{184,250}{223,999^*}$ | $\frac{4,014}{4,814^*}$       |
| 2                              | 81,79                                      | 33,75                  | 18,42               | 15,33  | –                                     | –                        | –                             | 2488,6                            | $\frac{216,610}{259,813^*}$ | $\frac{4,710}{5,660^*}$       |
| 3                              | 80,04                                      | 34,50                  | 19,80               | 14,70  | –                                     | –                        | –                             | 2861,4                            | $\frac{249,056}{298,730^*}$ | $\frac{5,426}{6,508^*}$       |

Упомянутые усредненные данные были определены как величины среднеарифметические для движения грузовых поездов с остановками и без остановок на промежуточных станциях в рассматриваемом нами диапазоне колебания масс составов от  $Q_1 = 2500$  т до  $Q_3 = 3500$  т с интервалом изменения на величину  $\Delta Q = 500$  т и постоянным числом осей в составе  $m = 200$  осей, т. е. нагрузка на оси колесных пар подвижного состава при этом составляла приблизительно, т/ось:  $q_1 = 12,5$ ,  $q_2 = 15,0$  и  $q_3 = 17,5$ .

С учетом усредненных параметров основных показателей перевозочной работы локомотивов на равнинном участке железной дороги [2, 3] и нормативы «Темирйўленилгитаьмин» на отпускную цену (стоимость) одного киловатт-часа электрической энергии и одной тонны дизельного топлива для линейных локомотиворемонтных предприятий железнодорожной отрасли были определены расходы топливно-энергетических ресурсов на тягу поездов в денежном выражении, значения которых для электровозов 3ВЛ80<sup>С</sup> и тепловозов UzTE16M3, 3ТЭ10М приведены в таблице 2.

При помощи стандартной программы Microsoft Excel Office нами были получены аналитические выражения (уравнения регрессии), предназначенные для организации вычисления усредненных значений параметров основных показателей перевозочной работы тепловозов UzTE16M3, 3ТЭ10М и электровозов 3ВЛ80<sup>С</sup> на заданном виртуальном равнинном участке железной дороги любой  $i$ -й массы состава  $Q_i$  грузового поезда, где  $R^2 = 1,0$  – достаточная величина достоверности аппроксимации (необходимое условие достоверности:  $R^2 \geq 0,8$ ), а  $Q_i = 1, 2, 3$  – вариант тягового расчета.

Формулы для определения усредненных значений параметров основных показателей перевозочной работы тепловозов 3ТЭ10М и UzTE16M3 на виртуальном равнинном участке железной дороги обозначены в источнике [4], а для электровозов 3ВЛ80<sup>С</sup> они приведены ниже, где индексом \* помечены значения полного и удельного расхода электрической энергии в денежном выражении, которые вычисляют с учетом налога на добавленную стоимость.

Техническая скорость движения, км/ч,

$$V_T = 0,37Q_i^2 - 3,60Q_i + 87,51. \quad (1)$$

Общее время хода поезда, мин,

$$t_x = -0,125Q_i^2 + 1,375Q_i + 31,5. \quad (2)$$

Время хода поезда на режиме тяги, мин,

$$t_T = -0,07Q_i^2 + 1,73Q_i + 15,24. \quad (3)$$

Время хода поезда на режиме холостого хода и торможения, мин,

$$t_{x,x,T} = -0,045Q_i^2 - 0,395Q_i + 16,29. \quad (4)$$

Общий (полный) расход электрической энергии за поездку, кВт-ч,

$$A = 0,475Q_i^2 + 370,38Q_i + 1746. \quad (5)$$

Удельный расход электрической энергии за поездку, Вт-ч/ткм брутто,

$$a = 0,07Q_i^2 - 0,6Q_i + 18,99. \quad (6)$$

Полные денежные затраты, тыс. сўм,

$$C_3 = 0,045Q_i^2 + 32,225Q_i + 151,98; \quad (7)$$

$$C^*_3 = 1,555Q_i^2 + 31,145Q_i + 191,3. \quad (8)$$

Приведенные (удельные) денежные затраты, тыс. сўм/км,

$$c_3 = 0,001Q_i^2 + 0,702Q_i + 3,311; \quad (9)$$

$$c^*_3 = 0,001Q_i^2 + 0,84Q_i + 3,97. \quad (10)$$

Удельная стоимость железнодорожных перевозок грузов на различных видах локомотивной тяги определялась по следующим зависимостям [7]:

тепловозная тяга –

$$c_T = \frac{E \cdot Ц_T}{10^3 \cdot L}, \frac{\text{тыс. сум}}{\text{км}}; \quad (11)$$

электрическая тяга –

$$c_3 = \frac{A \cdot Ц_3}{10^3 \cdot L}, \frac{\text{тыс. сум}}{\text{км}}, \quad (12)$$

где  $E$  – расход дизельного топлива за поездку, кг;  $A$  – расход электроэнергии за поездку, кВт-ч;  $L$  – длина участка счета, км;  $Ц_T$ ,  $Ц_3$  – отпускная цена за расход соответственно одной тонны дизельного топлива и одного киловатт-часа электрической энергии, сўм.

Коэффициент  $K_Э$  оценки эффективности использования различных видов локомотивной тяги, равный отношению удельных стоимостей дизельного топлива  $c_T$  к электрической энергии  $c_Э$  (т. е.  $K_Э = c_T/c_Э$ ), принимаем в качестве критерия энергетической эффективности магистрального тягового подвижного состава.

Расчеты по определению полной и удельной стоимости перевозок грузов на равнинном участке железной дороги при электрической и тепловозной тяге производили аналогично работам [7, 8] соответственно по тарифу за один киловатт-час израсходованной электрической энергии  $Ц_Э = 87,04$  сўм/кВт-ч (без учета НДС), а  $Ц_Э = 104,40$  сўм/кВт-ч – с учетом НДС и среднему значению отпускной цены за одну тонну израсходованного дизельного топлива  $Ц_T = 1770,45$  тыс. сўм/т.

На рисунке 3 приведены критерии оценки эффективности использования дизельной и электрической тяги при движении грузовых поездов на виртуальном равнинном участке железной дороги, где обозначено: ● — — — ● — тепловозы 3ТЭ10М; ○ — — — ○ — тепловозы UzTE16M3; ◄ — — — ◄ — электровозы 3ВЛ80<sup>С</sup>.

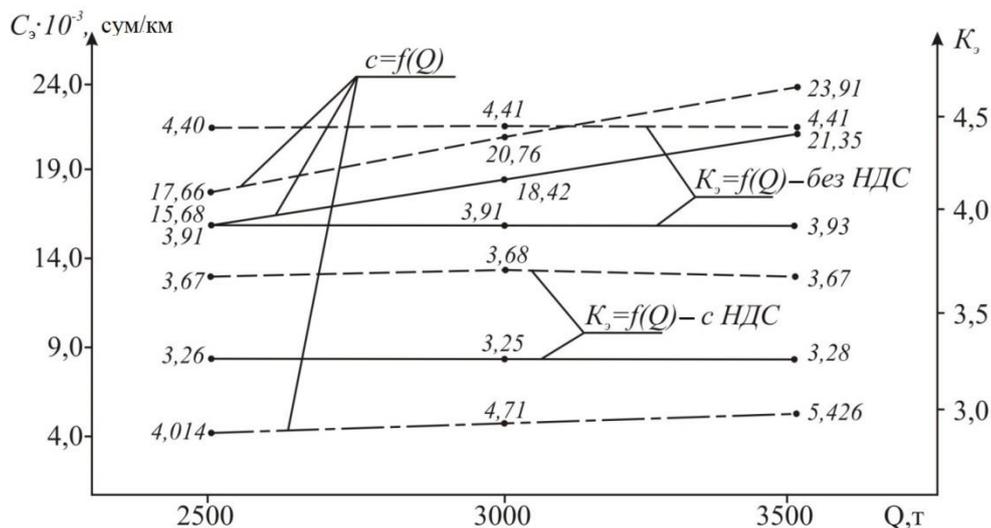


Рисунок 3 – Критерии эффективности использования локомотивов дизельной и электрической тяги на равнинном участке железной дороги

Анализ результатов исследований показал следующее:

характер изменения усредненных параметров основных показателей использования локомотивов дизельной и электрической тяги в зависимости от массы состава грузового поезда описывается полиномиальными законами (зависимостями);

увеличение расхода электрической энергии и дизельного топлива за поездку в первую очередь связано с уменьшением времени хода грузового поезда на режимах холостого хода, торможения и с увеличением времени работы силовой энергетической установки исследуемых магистральных локомотивов под нагрузкой, а как следствие, это способствует увеличению механической работы сил, действующих на упомянутый поезд в режиме тяги;

увеличение массы состава и времени работы силовых энергетических установок исследуемых тепловозов UzTE16M3, 3ТЭ10М и электровозов 3ВЛ80<sup>С</sup> на режимах тяги приводит к увеличению израсходованного ими количества дизельного топлива и электрической энергии на тягу поездов;

для исследуемых серий локомотивов последовательное увеличение массы состава грузовых поездов на каждые  $\Delta Q = 500$  т приводит к повышению стоимости железнодорожных перевозок грузов и к снижению удельного расхода электрической энергии и дизельного топлива на тягу поездов;

для обоих видов тяги уменьшение на каждые  $\Delta Q = 500$  т массы состава с 3500 до 2500 т приводит к уменьшению стоимости перевозок грузов в среднем приблизительно на 15,43 – 17,54 и 15,69 – 17,69 % (тепловозы UzTE16M3 и 3ТЭ10М) и на 15,20 – 17,25 % – электровозы 3ВЛ80<sup>С</sup>;

тепловозы UzTE16M3 по сравнению с тепловозами 3ТЭ10М с дифференциацией изменения по массе состава в  $\Delta Q = 500$  т обеспечивают снижение расхода дизельного топлива на тягу поездов и стоимости перевозок грузов в среднем приблизительно, на 10,71 – 11,24 %;

электровозы 3ВЛ80<sup>С</sup> эффективнее (экономичнее) тепловозов UzTE16M3 и 3ТЭ10М в среднем соответственно в 3,91 (3,26) и 4,40 (3,67) раза –  $Q_1 = 2500$  т; в 3,91 (3,25) и 4,41 (3,68) раза –  $Q_2 = 3000$  т и в 3,93 (3,28) и 4,41 (3,67) раза –  $Q_3 = 3500$  т. В скобках приведены значения для тарифа за один киловатт-час израсходованной электрической энергии с учетом налога на добавленную стоимость;

электрическая тяга в сравнении с дизельной, несомненно, будет значительно меньше «загрязнять» атмосферу вредными веществами и их компонентами.

Таким образом, доказано преимущество электрической тяги (электровозы 3ВЛ80<sup>С</sup>) над дизельной (тепловозы 3ТЭ10М, UzTE16M3), а трехсекционных магистральных (поездных) грузовых тепловозов UzTE16M3 – над аналогичными тепловозами серии 3ТЭ10М. Это подтверждают результаты исследований [4], причем пополнение локомотивного парка железнодорожной отрасли новыми, модернизированными, магистральными (поездными) грузовыми тепловозами серии UzTE16M в различном секционном исполнении обеспечит более высокие показатели использования дизельной тяги и снижение себестоимости железнодорожных перевозок на участках железных дорог с первым, равнинным, типом профиля пути.

Полученные нами модели вождения грузовых поездов трехсекционными магистральными тепловозами серий 3ТЭ10М, UzTE16M3 и электровозами 3ВЛ80<sup>С</sup> на виртуальном равнинном участке железной дороги, усредненные значения параметров основных показателей перевозочной работы таких локомотивов и уравнения регрессии по их определению, аналогично результатам исследований [2 – 5, 7, 8 и др.] можно будет учитывать при разработке комплексных мероприятий и рекомендаций, направленных на повышение топливно-энергетической эффективности использования магистральных (поездных) грузовых локомотивов электрической и дизельной тяги для разнообразных условий организации железнодорожных перевозок на реальных равнинных участках железных дорог.

Уравнения регрессии по определению усредненных значений параметров основных показателей перевозочной работы трехсекционных магистральных (поездных) грузовых тепловозов UzTE16M3, 3ТЭ10М и электровозов 3ВЛ80<sup>С</sup> будут полезны машинистам-инструкторам, специалистам цеха эксплуатации локомотивных депо и других структурных подразделений АО «Ўзбекистон темир йўллари», чья производственная деятельность непосредственно связана с организацией грузового движения и перевозочного процесса локомотивов дизельной и электрической тяги на виртуальных и идентичных им реальных равнинных участках железных дорог.

### Список литературы

1. Кузьмич, В. Д. Теория локомотивной тяги: Учебник [Текст] / В. Д. Кузьмич, В. С. Руднев, С. Я. Френкель. – М.: Маршрут, 2005. – 448 с.

2. Абляимов, О. С. К анализу энергетической эффективности тепловозов UzTE16M3 на равнинном участке железной дороги [Текст] / О. С. Абляимов, М. З. Мухитдинов // Материалы междунар. науч.-практ. конф. «Повышение энергетической эффективности наземных транспортных систем» / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2014. – С. 184 – 191.

3. Абляимов, О. С. К анализу эффективности использования электровозов 3ВЛ80<sup>С</sup> на равнинном участке железной дороги [Текст] / О. С. Абляимов, И. С. Камалов, М. З. Мухитдинов // Материалы второй всерос. науч.-техн. конф. «Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов» / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2014. – С. 32 – 38.

4. Абляимов, О. С. Исследование эффективности использования тепловозной тяги на равнинном участке железной дороги [Текст] / О. С. Абляимов // Вестник транспорта Поволжья / Самарский гос. ун-т путей сообщения. – Самара, 2015. – № 1 (49). – С. 17 – 24.

5. Абляимов, О. С. Исследование перевозочной работы электровозов 3ВЛ80<sup>С</sup> методом осреднения расчетных величин [Текст] / О. С. Абляимов, Ж. Х. Атахажаев // Материалы республиканской науч.-практ. конф. «Таълим тизимини ривожлантиришда таълим босқичлари ўртасидаги интеграция жараенларини чуқурлаштириш» / Ташкентский гос. ун-т экономики. – Ташкент, 2014. – С. 35 – 37.

6. Абляимов, О. С. Основы управления локомотивов: Учебник [Текст] / О. С. Абляимов, Э. С. Ушаков. – Ташкент: Davr, 2012. – 392 с.

7. Абляимов, О. С. Исследование эффективности использования локомотивной тяги в эксплуатации [Текст] / О. С. Абляимов, В. С. Кудряшов, И. Р. Каюмов // Вестник ТашИИТа / Ташкентский ин-т инж. ж.-д. трансп. – Ташкент, 2013. – № 1-2. – С. 50 – 54.

8. Абляимов, О. С. Анализ эффективности использования локомотивной тяги на холмистом участке железной дороги [Текст] / О. С. Абляимов, Ф. С. Равшанов // Материалы III междунар. науч.-техн. конф. «Локомотивы. XXI век» / Петербургский гос. ун-т путей сообщения Императора Александра I. – СПб, 2015. – С. 168 – 171.

## References

1. Kuz'mich V. D. *Teoriia lokomotivnoi tiagi* (Locomotive traction theory). Moscow: Marshrut, 2005, 448 p.

2. Ablialimov O. S., Mukhitdinov M. Z. Analysis of the energy efficiency of diesel UzTE16M3 on a flat section of the railway [K analizu energeticheskoi effektivnosti teplovozov UzTE16M3 na ravninnom uchastke zheleznoi dorogi]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoy konferencii «Povyshenie energeticheskoi effektivnosti nazemnykh transportnykh sistem»* (Proceedings of the international scientific-practical conference «Improving the energy efficiency of land transport systems»). – Omsk, 2014, pp. 184 – 191.

3. Ablialimov O. S., Kamalov I. S., Mukhitdinov M. Z. Analysis of efficiency of electric 3VL80S on a flat section of the railway [K analizu effektivnosti ispol'zovaniia elektrovozov 3VL80S na ravninnom uchastke zheleznoi dorogi]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoy konferencii «Ekspluatatsionnaia nadezh-nost' lokomotivnogo parka i povyshenie effektivnosti tiagi poezdov»* (Proceedings of the international scientific-practical conference «The operational reliability of the locomotive fleet, and increasing the efficiency of traction trains»). – Omsk, 2014, pp. 32 – 38.

4. Ablialimov O. S. Research of efficiency of use of diesel traction in the flat land of the railway [Issledovanie effektivnosti ispol'zovaniia teplovoznoi tiagi na ravninnom uchastke zheleznoi dorogi]. *Vestnik transporta Povolzh'ia - Bulletin of the Volga transport*, 2015, no. 1 (49), pp. 17 – 24.

5. Ablialimov O. S., Atakhazhaev Zh. Kh. Research 3VL80S electric transportation work by averaging the calculated values [Issledovanie perevozochnoi raboty elektrovozov 3VL80S metodom osredneniia raschetnykh velichin] *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoy konferencii «Ta"lim tizimini rivozhlantirishda ta"lim bosqichlari ўrtasidagi integratsiia zharaenlarini chukurlashtirish»* (Proceedings of the international scientific-practical conference «Talim tizimini rivozhlantirishda talim bosqichlari ўrtasidagi integration zharaenlarini chukurlashtirish»). – Tashkent, 2014, pp. 35 – 37.

6. Ablialimov O. S., Ushakov E. S. *Osnovy upravleniia lokomotivov: Uchebnik dlia professional'nykh kolledzhei zheleznodorozhnogo transporta* (Basics of locomotives: Textbook for professional colleges of rail transport). Tashkent: Davr, 2012, 392 p.

7. Ablialimov O. S., Kudriashov V. S., Kaiumov I. R. Research of efficiency of use of locomotive traction in operation [Issledovanie effektivnosti ispol'zovaniia lokomotivnoi tiagi v ekspluatatsii]. *Vestnik TashIIT – Bulletin of Tashiit*, Tashkent, 2013, no. 1/2, pp. 50 – 54.

8. Ablialimov O. S., Ravshanov F. S. Analysis efficiency locomotive traction on the hilly section of the railway [Analiz effektivnosti ispol'zovaniia lokomotivnoi tiagi na kholmistom uchastke zheleznoi dorogi]. *Materialy III-i Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoy konferencii «Lokomotivy. XXI vek»* (Proceedings of the III-rd the international scientific-practical conference «Locomotives. The XXI century»). – Sankt-Peterburg, 2015, pp. 168 – 171.

УДК 629.421 (621.436+621.313.12)

А. К. Белоглазов, В. О. Носков, А. В. Чулков

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА РАБОТУ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ТЕПЛОВОЗА И ЕГО АГРЕГАТОВ

*В статье рассмотрены режимы охлаждения и нагрева отдельных узлов и агрегатов тепловозного дизеля в условиях низкой температуры окружающего воздуха. значительное внимание уделено описанию характерных особенностей интенсивности охлаждения водяной системы тепловозного дизельного двигателя. Представлены результаты исследования влияния температуры наружного воздуха, эксплуатационных режимов нагрузки и холостого хода на работу системы охлаждения тепловоза. Приведены параметры охлаждающей воды и моторного масла, характеризующие тепловые режимы работы дизеля. Рассмотрены и проанализированы различные способы прогрева систем тепловозного дизеля с использованием бортовых и стационарных устройств. Цель статьи – предложить способы повышения эффективности использования дизельного топлива при прогреве тепловоза за счет снижения времени работы дизеля на холостом ходу.*

На сети железных дорог Российской Федерации тепловозы работают в различных географических и климатических зонах. Работа тепловозов на дорогах Севера, Сибири и Забайкалья в зимний период при низкой температуре наружного воздуха, достигающей минус 50 °С и ниже, сопровождается продолжительными ветрами, скорость которых доходит до 15, а иногда и до 25 м/с [1]. Продолжительность эксплуатации тепловозов при отрицательной температуре наружного воздуха достигает 70 – 75 % от календарного времени года.

В зимнее время силовая установка тепловоза практически не останавливается, так как узлы и агрегаты тепловоза, такие как дизель, системы охлаждения масла, воды и др., отличающиеся массивностью, условиями работы, размещением по отношению к окружающей среде, имеют различные темпы нагрева и охлаждения. Эти особенности, очевидно, следует учитывать как при конструировании, так и при эксплуатации.

Потеря теплоты любым телом может быть представлена уравнением в дифференциальной форме [2]:

$$dQ = kmC_p(t_2 - t_1), \quad (1)$$

где  $m$  – масса тела, кг;

$k$  – коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$C_p$  – удельная теплоемкость воздуха, кДж/(кг·К);

$t_2$  и  $t_1$  – температура охлаждаемого тела и окружающей среды, °С.

Такое же количество теплоты передается в окружающую среду путем конвекции, теплопроводностью, излучением:

$$\alpha Q = kF(t - t_0)d\tau. \quad (2)$$

Если учесть, что в начальной стадии значительную роль в процессе охлаждения играет лучистый теплообмен, пропорциональный абсолютной температуры в четвертой степени, то для учета сложной зависимости теплообмена от температуры выражение (2) лучше представить в виде [2]:

$$\alpha Q = kF(t - t_0)^n d\tau, \quad (3)$$

где  $k$  – коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  
 $F$  – поверхность теплообмена, м<sup>2</sup>;  
 $t, t_0$  – температура охлаждаемого тела и окружающей среды, °С;  
 $\tau$  – время, с;  
 $n$  – показатель степени.

Решая совместно уравнения (1) и (3) относительно текущего значения температуры, можно получить выражение:

$$t = t_0 + \left( \frac{\tau_1}{\tau_2} \left( \left( \frac{t_2 - t_0}{t_1 - t_0} \right)^{1-n} - \left( 1 - \frac{\tau_1}{\tau_2} \right) \right)^{\frac{1}{1-n}}, \quad (4)$$

где  $t_1$  – начальное значение температуры тела при  $\tau = 0$ ;

$t_2$  – значение температуры тела через промежуток времени  $\tau_2$ .

С целью установления закономерностей, характеризующих режимы охлаждения и нагрева отдельных элементов тепловоза, а также с целью разработки методики выявления конкретного вида формулы (2) для узлов и агрегатов, были проведены испытания десяти маневровых тепловозов ТЭМ2 депо Омск [3].

В качестве объектов наблюдения были выбраны элементы силовой установки, которые наиболее подвержены охлаждению [4].

На рисунках 1, 2 представлена интенсивность охлаждения воды при заглушенном дизеле. При низкой температуре окружающей среды скорость охлаждения отдельных частей систем тепловоза при заглушенном дизеле может быть значительно выше, чем у самого дизеля [5].

При температуре окружающего воздуха минус 30 °С, наблюдается существенное различие в скоростях охлаждения воды в горячем и холодном контурах. Так, за 30 мин температура в горячем контуре упала с 75 до 55 °С, в то время как температура воды в холодном контуре упала с 55 до 35 °С. Такому резкому снижению температуры способствует низкая температура рамы тепловоза и металлических частей кузова.

С целью поддержания рабочей температуры теплоносителей (вода, масло и топливо) необходимо периодически включать в работу дизель тепловоза для прогрева систем циркуляции воды и масла. Продолжительность прогрева зависит от температуры окружающего воздуха и технического состояния тепловоза. Согласно инструкции по эксплуатации тепловозов прогрев систем дизеля должен осуществляться периодической работой дизеля на нулевой или пятой позициях контроллера, а в случае понижения температуры окружающего воздуха до минус 30 °С и ниже при сильном боковом ветре разрешается осуществлять самопрогрев на восьмой позиции контроллера. Прогреть вспомогательные системы тепловозов включением в работу дизеля, имеющего номинальную мощность 880 кВт, вряд ли целесообразно, так как при работе двигателя на холостом ходу происходит не только износ трущихся частей, но и вследствие плохого распыла топлива происходят разжижение масла и преждевременная его порча. Следовательно, при длительных стоянках тепловоза в горячем резерве в зимнее время целесообразно иметь систему прогрева силовой установки, не связанную с работой дизеля.

Без использования средств прогрева теплосиловой установки возможно значительное охлаждение воды и масла с последующим увеличением его вязкости. Прогрев дизеля от стороннего источника обеспечит необходимый тепловой режим дизеля и его систем, т. е. постоянную готовность тепловоза к выполнению работы.

Проведенные испытания десяти маневровых тепловозов ТЭМ2 депо Омск показали, что наиболее подверженными к охлаждению являются нижние коллекторы водяного холодильника. Их охлаждение происходит примерно в шесть раз быстрее, чем блока цилиндров дизеля. При замедлении темпа охлаждения при существующей конструкции ограждения тепло-

воза неработающий тепловоз мог бы значительное время находиться в работоспособном состоянии при низкой наружной температуре в зимнее время.

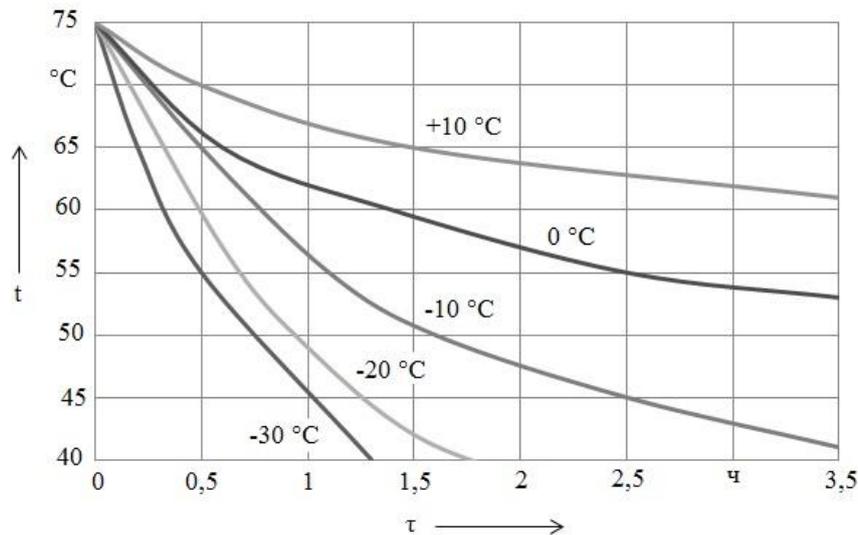


Рисунок 1 – Интенсивность охлаждения воды в горячем контуре тепловоза при неработающем дизеле

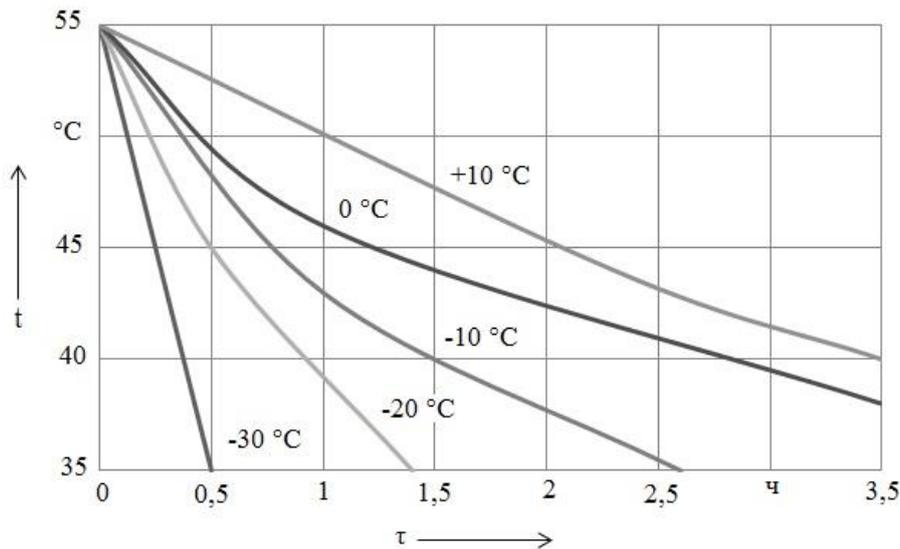


Рисунок 2 – Интенсивность охлаждения воды в холодном контуре тепловоза при неработающем дизеле

Параметры, характеризующие тепловые режимы работы дизелей, подвергались математической обработке. В результате определены статистические распределения температуры воды и масла в процессе эксплуатации тепловозов (математическое ожидание  $\bar{t}_в, \bar{t}_м$ , среднеквадратическое отклонение  $\delta t_м, \delta t_в$  и коэффициент вариации  $\nu$ ).

Статистическое распределение температуры воды и масла в процессе эксплуатации тепловозов описывается нормальным законом. Параметры закона приведены в таблице и на рисунках 3 и 4.

Параметры законов распределений

| Рабочее тело              | Параметры статистического распределения |                         |       |
|---------------------------|---|-------------------------|-------|
|                           | $\bar{t}_в, \text{°C}$                  | $\delta t_м, \text{°C}$ | $\nu$ |
| Вода на выходе из дизеля  | 74,4                                    | 4,95                    | 0,067 |
| Масло на выходе из дизеля | 65,3                                    | 3,8                     | 0,056 |

Из данных, приведенных в таблице, следует, что значения тепловых параметров дизелей тепловозов в процессе их работы ниже рекомендуемых инструкцией по эксплуатации на 15 – 20 °С, следовательно, имеются существенные резервы снижения расхода топлива за счет повышения температуры воды и масла. Известно, что при снижении температуры масла происходит увеличение потерь мощности на трение и снижение механического КПД.

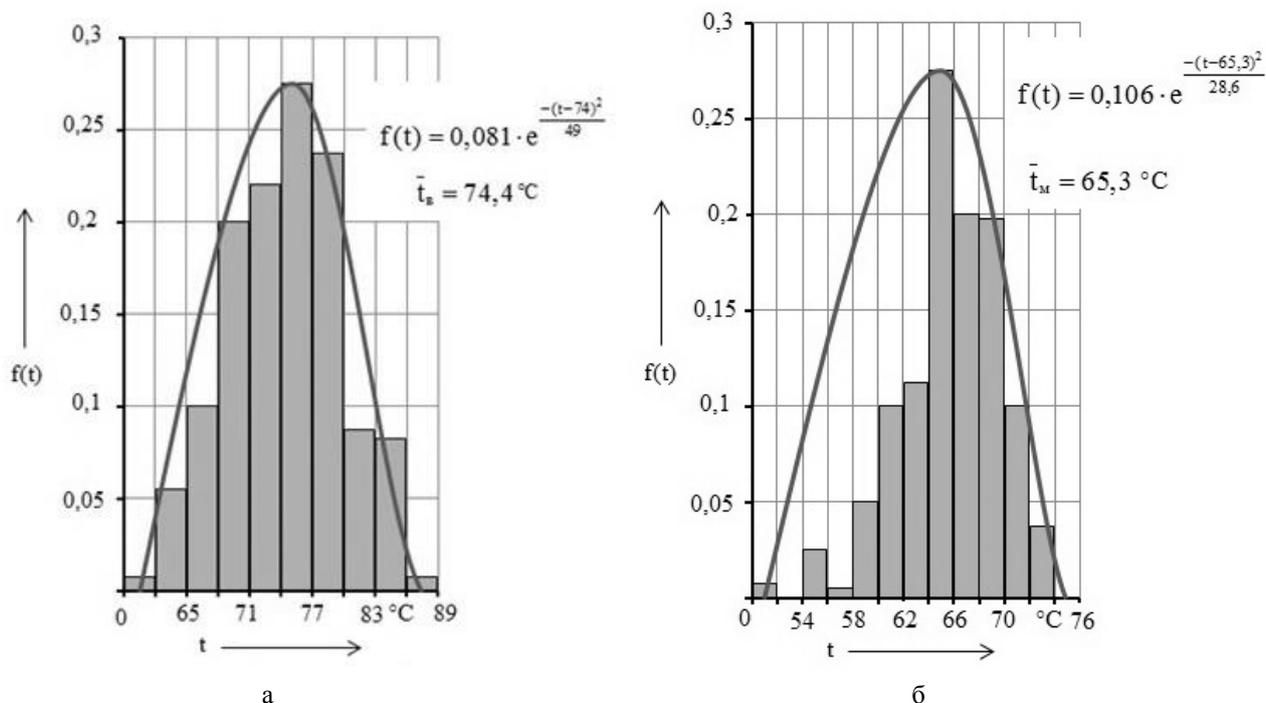


Рисунок 3 – Распределение температуры воды (а) и масла (б) на выходе из дизеля

Первым выводом по результатам проведенных испытаний является предложение о целесообразности существенного улучшения тепловой изоляции водяных и масляных холодильников тепловоза и картера двигателя.

Наиболее простым вариантом улучшения теплотехнических показателей маневровых локомотивов в зимних условиях является изменение конструкции ограждения водяных и масляных холодильников тепловозов и подмоторной рамы. Конструкция ограждений должна удовлетворять двум условиям: при неработающем двигателе она должна иметь, возможно, большее термическое сопротивление, в рабочем состоянии – обеспечивать хорошее охлаждение теплопередающих поверхностей [6].

Вариант с сезонным изменением ограждения, т. е. с утепляющими элементами, выглядит наиболее целесообразным. При применении сезонного ограждения такого же типа, как используемые в настоящее время чехлы для утепления водяных холодильников, не будет создано требуемого эффекта, так как нижние коллекторы водяных холодильников не теплоизолированы от рамы. Аналогичное замечание может быть сделано и в отношении картера двигателя. Конструкция тепловоза способствует быстрому охлаждению в зимних условиях.

Конструкция тепловоза должна быть рассчитана на длительную установку теплоизоляционных элементов ограждения, не препятствующих нормальной работе холодильников, но теплоизолирующих их при неработающем двигателе. Конструкция подмоторной рамы должна допускать установку в зимнее время теплозащитных элементов для предохранения картера.

Если учесть длительность периода с отрицательной температурой окружающей среды в нашей стране, то станет совершенно очевидной актуальность вопросов об изменении конструкции, в первую очередь маневровых локомотивов, которые по условиям их эксплуатации значительное время находятся в нерабочем состоянии [6].

Перспективным вариантом поддержания рабочей температуры теплоносителей маневрового тепловоза в зимних условиях работы является замена воды в системе охлаждения высокоорганическим теплоносителем, не замерзающим при низкой температуре и кипящим при температуре выше 100 °С. Применение высокоорганического теплоносителя в качестве рабочего тела для системы охлаждения дизеля тепловоза весьма перспективно, оно исключает необходимость прогрева двигателя на стоянках в зимнее время [7].

Разогрев смазки в картере перед пуском двигателя можно обеспечить за счет электронагревательных элементов, устанавливаемых в картере двигателя. Для разогрева масла может использоваться также микрокотел с системой замкнутой циркуляции незамерзающего теплоносителя через змеевик или какой-либо другой поверхностный теплообменник, устанавливаемый в объеме масла. В качестве образца такого микрокотла может использоваться полностью автоматизированный водогрейный микрокотел, используемый для обогрева служебных и рабочих помещений рефрижераторных секций. Вентилятор, форсунка и топливный насос такого котла работают с весьма малым потреблением электроэнергии и могут подключаться к аккумуляторной батарее или к специальной ее секции. Этот вариант полностью исключает работу двигателя тепловоза на стоянке. Основным недостатком его является необходимость использования сравнительно дорогого высокоорганического теплоносителя. Однако высокоорганический теплоноситель находит широкое применение в различных высокотемпературных технологических схемах нагрева [7].

Замена воды в дизеле тепловоза высокоорганическим теплоносителем имеет и другие преимущества, связанные с возможностью повышения рабочей температуры в системе охлаждения до 110 – 120 °С, что в свою очередь приведет к уменьшению поверхности теплообмена холодильника. Основные преимущества заключаются в их высокой температуре кипения и низкой температуре затвердевания при атмосферном давлении. Поэтому повышение температуры в системе охлаждения не потребует повышения давления. Предварительные расчеты при замене воды диталилметаном ( $t_{\min} = 293$  °С;  $t_{\text{кр}} = 30 - 36$  °С) показывают, что если принять температуру теплоносителя на входе из холодильника 120 и 110 °С, а воздуха соответственно 38 и 60 °С, то средний логарифмический напор возрастает с 35 – 36 °С в настоящее время до 65 – 66 °С. Потребная поверхность холодильника в этом случае снижается примерно в два раза, так как величину коэффициента теплопередачи при высокоорганическом теплоносителе можно получить такую же, как и при воде. Коэффициент теплопередачи  $K$ , вычисленный для диталилметана, составляет 65 – 70 ккал/м<sup>2</sup> °С·ч.

Подогрев воды и масла при низкой температуре окружающей среды можно обеспечить с помощью специально устанавливаемого электроподогревателя. При этом не требуется водяного охлаждения тепловозного дизеля. Такой вариант исключает использование дизеля для зарядки воздушных тормозных резервуаров и его работу на холостом ходу для прогрева в зимнее время, а также обеспечивает независимую от режима работы тепловоза подачу воздуха в тормозную систему.

Одним из рациональных вариантов решения рассматриваемой задачи следует считать применение на тепловозе вспомогательной дизель-генераторной установки малой мощности для обеспечения электрического привода водяных насосов и подзарядки аккумуляторной батареи при неработающем дизеле тепловоза [8]. Такой дизель-генератор должен быть включен в систему циркуляции охлаждающей воды дизеля. При неработающем тепловозном дизеле специальным насосом с электроприводом можно обеспечить циркуляцию воды в системе охлаждения тепловозного дизеля.

Вариант конструкции тепловоза со вспомогательной дизель-генераторной установкой неоднократно ранее рассматривался, однако до настоящего времени нет технико-экономического исследования этого варианта. На железных дорогах США применяют вспомогательную силовую установку типа Junior компании Kim Hotstart для прогрева тепловозных дизелей. За счет ее применения удается сократить расход топлива на 5 %.

Из рассмотренного выше можно сделать вывод о том, что в настоящее время имеется множество разработок, направленных на сокращения эксплуатационных расходов локомотивов за счет снижения работы дизельного двигателя локомотива в режиме самопрогрева. Однако данная проблема до сих пор остается актуальной, поскольку отсутствует техническое решение, позволяющие использовать разработанные системы для большинства тепловозов независимо от местоположения и вида выполняемых работ. Маневровые тепловозы могут работать непосредственно на территории депо, и для них целесообразен самый простой способ прогрева по принципу системы «Контур». Система основана на использовании электрических котлов, получающих питание от постороннего источника. Преимущества данной системы состоят в том, что в качестве топлива для первичного источника используется более дешевый вид – каменный уголь или природный газ. Система «Контур» автоматически производит регулировку мощности нагревательных элементов, является компактной, одновременно осуществляет подзаряд аккумуляторных батарей. Однако у данной системы есть и недостатки. Для работы системы «Контур» необходимо иметь специализированные места отстоя со шкафами подключения, а для тепловозов, эксплуатируемых на сортировочных или малонапряженных станциях, данный способ уже не актуален [8].

В ходе всестороннего анализа систем прогрева дизельных двигателей, применяемых на железных дорогах России, определена задача – разработка системы прогрева дизель-генераторной установки без использования энергии посторонних источников, с автоматизированным управлением, надежной в работе и удобной в обслуживании с учетом опыта использования разработанных систем прогрева и конструктивных особенностей тепловозов.

### Список литературы

1. Эксплуатация тепловозов в различных климатических условиях [Текст] / А. Д. Беленький, Н. И. Дмитриев и др. – М.: Транспорт, 1971. – 120 с.
2. Исследование вопросов механики и теплопередачи агрегатов подвижного состава, технология ремонта и эксплуатации транспортных машин [Текст] / Под ред. Д. Л. Юдина / Труды МИИТа. – М., 1975. – Вып. 479. – 162 с.
3. Луков, Н. М. Автоматизация систем охлаждения тепловозов [Текст] / Н. М. Луков. – М.: 1974. – 56 с.
4. Белоглазов, А. К. Влияние типа привода вспомогательных агрегатов на энергетические затраты тепловоза [Текст] / А. К. Белоглазов, В. Ф. Тарута, А. В. Чулков // Исследование надежности и экономичности дизельного подвижного состава: Межвуз. темат. сб. науч. тр. / Омский ин-т инж. ж.-д. трансп. – Омск, 1983. – С. 73 – 77.
5. Якушин, Р. Ю. Способы прогрева систем тепловозных дизелей в условиях локомотивных депо [Текст] / Р. Ю. Якушин // Методы оценки технического состояния, эксплуатационной экономичности и экологической безопасности дизельных локомотивов: Монография. – М.: Желдориздат, 2007. – С. 185 – 201.
6. Володин, А. И. Исследование процессов теплопередачи в тепловозном дизеле [Текст] / А. И. Володин, Д. В. Балагин, Ю. С. Комкова // Известия Транссиба / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск. – 2011. – № 4 (8). – С. 6 – 10.
7. Маханько М. Г. Исследование теплотехнических вопросов транспорта [Текст] / М. Г. Маханько, С. Г. Грищенко. – М., 1976. – Вып. 511.
8. Анисимов, А. С. Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте [Текст] / А. С. Анисимов, В. О. Носков, В. К. Фоменко // Материалы науч.-практ. конф. / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2014. – С. 97 – 104.

### References

1. Belenky A. D. Dmitriev N. I., Perelman Y. Z., Mukhutdinov G. N., Skupchenko A. I., Sokolov B. N. *Ekspluatatsiia teplovozzov v razlichnykh klimaticheskikh usloviakh* (Operation of diesel in various climatic conditions). Moscow: Transpotr, 1971, 120p.

2. *Issledovanie voprosov mekhaniki i teploperedachi agregatov podvizhnogo sostava, tekhnologii remonta i ekspluatatsii transportnykh mashin* (Study on mechanics and heat transfer units of rolling stock, maintenance technology and operation of transport trucks). Moscow: Engineering Works, 1975, Vol. 479, 162.

3. Lukov N. M. *Avtomatizatsiia sistem okhlazhdeniia teplovozzov* (Automation of systems of cooling of diesel locomotives). Moscow: 1974. – p. 56.

4. Beloglazov A. K., Taruta V. F., Chulkov A. V. Influence of the type of accessory drive on energy costs locomotive [Vliianie tipa privoda vspomogatel'nykh agregatov na energeticheskie zatraty teplovoza]. *Issledovanie nadezhnosti i ekonomichnosti dizel'nogo podvizhnogo sostava: Mezhevuzovskii tematiceskii sbornik nauchnykh trudov* (Study of reliability and efficiency of diesel rolling stock: Interuniversity thematic collection of scientific papers). Omsk, 1983, pp. 73 – 77.

5. Jakushin R. Y. *Sposoby progrevva sistem teplovozznykh dizelei v usloviakh lokomotivnykh depo* [Methods warming systems diesel engines under the locomotive depots]. *Metody otsenki tekhnicheskogo sostoianiia, ekspluatatsionnoi ekonomichnosti i ekologicheskoi bezopasnosti dizel'nykh lokomotivov: Monografiia* (Methods of assessing the technical condition, operating-term cost-effectiveness and environmental safety of the diesel locomotives: Monograph). Moscow: Zheldorizdat, 2007, pp 185 – 201.

6. Volodin A. I., Balagin D. V., Komkova Y. S. Investigation of the processes of heat transfer in diesel engines [Issledovanie protsessov teploperedachi v teplovozznom dizele]. *Izvestiia Transsiba – The Trans-Siberian Bulletin*, 2011, № 4 (8), pp. 6 – 10.

7. Makhanko M. G., Grishchenko S. G. *Issledovanie teplotekhnicheskikh voprosov transporta* (Study thermal transport issues). Moscow, 1976, vol. 511.

8. Polkovnikov M. A., Noskov V. O., Fomenko V. K., Jakushin R. Y. *Innovatsionnye proekty i tekhnologii v obrazovanii, promyshlennosti i na transporte* (Increasing efficiency and improving the maintenance and repair of locomotives). Omsk, 2014, pp.43 – 48

---

УДК 629.423.33:621.336.3

С. В. Заренков, И. Е. Чертков

### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ СКОРОСТНЫХ ТОКОПРИЕМНИКОВ

*В статье рассмотрены новые разработки в области надежности работы скоростных токоприемников. Приведено описание принципа работы предохранительных устройств токоприемника нового поколения, рассмотрена методика и приведены результаты расчета характеристик и параметров предохранительных устройств. Представлена методика испытаний предохранительных устройств токоприемника на ударно-колебательном комплексе для исследования взаимодействия токоприемника с контактной сетью.*

Развитие скоростного и высокоскоростного движения – насущная необходимость современного железнодорожного транспорта, что подтверждается документами Правительства Российской Федерации и ОАО «Российские железные дороги» [1, 2].

Управлением электрификации и электроснабжения ОАО «Российские железные дороги» рассмотрены варианты обеспечения электроснабжения высокоскоростного движения поездов со скоростями до 350 км/ч на магистрали Санкт-Петербург – Москва, сформирована унифицированная модель устройства системы тягового электроснабжения высокоскоростных железнодорожных магистралей (ВСМ) с учетом опыта других стран [3].

Однако с повышением мощности и скорости электроподвижного состава, интенсивности движения поездов увеличивается вероятность возникновения аварий на железнодорожном транспорте. При этом особое внимание уделяется безопасности движения поездов, связанной с надежностью работы токосъемных устройств. Для этого токоприемники электроподвижно-

го состава необходимо оборудовать специальными предохранительными устройствами, сохраняющими контактную подвеску и токоприемники при их неисправностях и предотвращающими серьезные аварии. Конструкция токоприемника электроподвижного состава должна обеспечивать требуемую скорость движения на заданном участке, допустимую токовую нагрузку и соответствовать требованиям ГОСТ 32204-2013 [4], а также должна иметь устройство автоматического аварийного опускания в случае повреждения полоза и контактных элементов.

Характеристики и параметры предохранительных устройств токоприемников должны быть выбраны таким образом, чтобы они не влияли на их работу в установившихся режимах, а срабатывали только при возникновении нештатных ситуаций, предотвращая повреждения или сводя к минимуму их последствия.

В настоящее время известно большое количество отечественных разработок в области предохранительных устройств, основанных, как правило, на использовании системы датчиков и пружин, установленных в конструкции токоприемника. Существуют также разработки для дистанционного управления положением токоприемника, содержащие приемник сигналов управления, подключенный к приводу самого токоприемника. Однако при использовании таких устройств возможен пережог контактных проводов в связи с ошибочным действием машиниста, осуществляющего опускание токоприемника с внешних устройств. Кроме того, для управления предохранительными устройствами часто используются механические связи, что не позволяет обеспечить требуемое быстродействие системы. Зарубежные аналоги используют устройства, основанные на применении специальных электромагнитных клапанов аварийного опускания токоприемника, а также устройства, принцип работы которых основан на использовании давления жидкости, проходящей в каналах полоза, что не позволяет использовать данные разработки в сложных климатических условиях.

Учитывая все эти факторы, можно сделать вывод о том, что существующие разработки не удовлетворяют современным условиям скоростного режима электроподвижного состава.

В Омском государственном университете путей сообщения (ОмГУПС) в рамках проекта «Разработка и организация высокотехнологичного производства нового магистрального токоприемника для применения на линиях с модернизированной инфраструктурой системы токосъема», реализованного при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, разработан токоприемник, оснащенный предохранительными устройствами нового поколения на основе пневматического управления [5, 6]. Токоприемник оборудован предохранительными устройствами, срабатывающими при срыве контактного элемента, при подъеме полоза на высоту больше допустимой, при ударах и наездах на препятствия на контактной подвеске. При срабатывании предохранительных устройств во избежание повреждения элементов токоприемника и контактной сети электрической дугой одновременно с опусканием токоприемника происходит срабатывание быстродействующего выключателя электровоза. Конструкции предохранительных устройств токоприемников для постоянного и переменного тока аналогичны. Различия заключаются в выбранных значениях уставок срабатывания устройства защиты при ударах и наездах на препятствия на контактной подвеске и в конструкции канала полоза для устройства защиты при срыве контактного элемента.

Для контроля и управления работой предохранительных устройств используется защитный пневматический контур (рисунок 1), расположенный на основании токоприемника в специальном корпусе, защищающем контур от воздействия внешних климатических факторов. Сжатый воздух от управляющих устройств с помощью распределителя поступает через соединительный рукав (РУ) в резинокордный элемент (РКЭ) токоприемника и к его предохранительным устройствам.

К пневмомагистрали сжатого воздуха, идущей к предохранительным устройствам, подключен пневматический выключатель с электрическими контактами, который находится внутри электровоза на панели с управляющими устройствами. При уменьшении давления в предохранительных устройствах пневматический выключатель одновременно с опусканием

токоприемника сбрасывает давление в питающей магистрали, что служит сигналом для срабатывания быстродействующего выключателя электровоза. Таким образом, предотвращаются появление электрической дуги и повреждение контактных проводов.

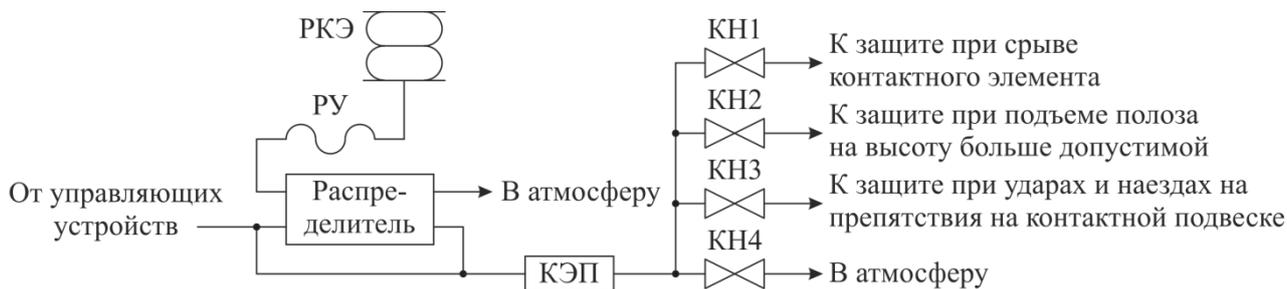


Рисунок 1 – Схема защитного пневматического контура

При срабатывании одного из предохранительных устройств с помощью пневматического клапана (КЭПа) мембранного типа происходит разгерметизация пневмомагистрали защитного контура. Во время срабатывания одного из предохранительных устройств значение рабочего давления над мембраной клапана снижается, в результате чего мембрана возвращается в нормальное положение и воздух из РКЭ через распределитель сбрасывается в атмосферу. Давление в РКЭ снижается и токоприемник опускается под действием собственной силы тяжести. Если токоприемник исправен, то его можно снова поднять из кабины машиниста и продолжить движение, в противном случае восстановление возможно только в условиях депо или пункта технического обслуживания локомотивов.

Краны КН1 – КН3 используются для подключения предохранительных устройств к пневматическому защитному контуру, кран КН4 – для имитации срабатывания предохранительных устройств. При срабатывании устройств защиты в результате срыва контактного элемента или наезда и ударах о препятствия на контактной подвеске токоприемник должен опуститься, последующее отключение и повторное включение управляющих устройств не должны привести к поднятию токоприемника.

**Принцип действия устройства защиты при срыве контактного элемента.** Каркас полоза токоприемника выполнен в виде Ш-образного несущего профиля с герметичным внутренним каналом (рисунок 2), который с помощью системы трубопроводов соединен с защитным пневматическим контуром токоприемника. В верхней части каркаса полоза имеются монтажные гнезда, которые герметично закрываются контактным элементом.

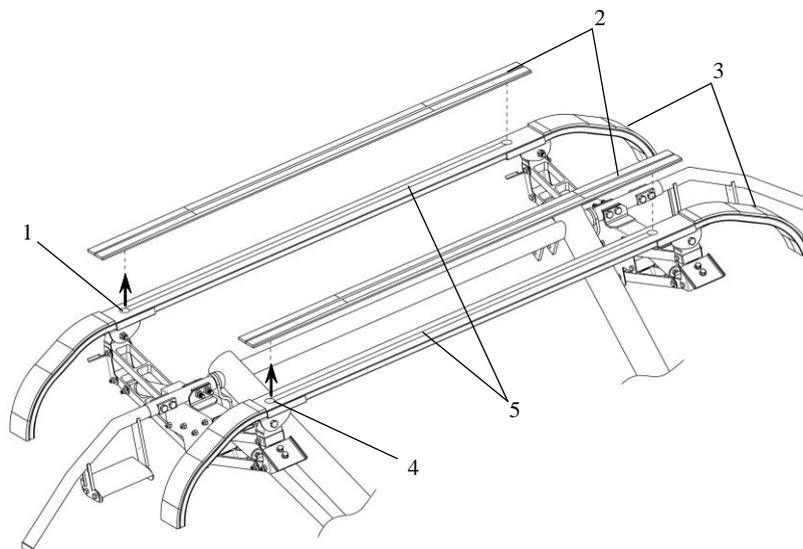


Рисунок 2 – Верхний узел токоприемника с устройством защиты при срыве контактного элемента:  
1, 4 – монтажное гнездо; 2 – контактный элемент; 3 – полоз; 5 – герметичные внутренние каналы

При срыве контактного элемента, его повышенном износе или изломе полоза нарушается герметизация внутреннего канала и воздух из каркаса полоза выходит в атмосферу, подавая управляющий сигнал на опускание токоприемника, при этом происходит сброс давления из РКЭ и токоприемник автоматически опускается.

**Принцип действия устройства защиты при подъеме полоза на высоту больше допустимой.** Устройство (рисунок 3) предназначено для автоматического опускания токоприемника при его подъеме на высоту больше допустимой, например, при выезде электровоза за знак «Конец контактной подвески» или при обрыве контактных проводов. Устройство состоит из нажимной пластины, закрепленной на валу нижнего рычага токоприемника, и пневматического мини-распределителя (ПМР1), расположенного на кронштейне основания токоприемника и соединенного с защитным пневматическим контуром.

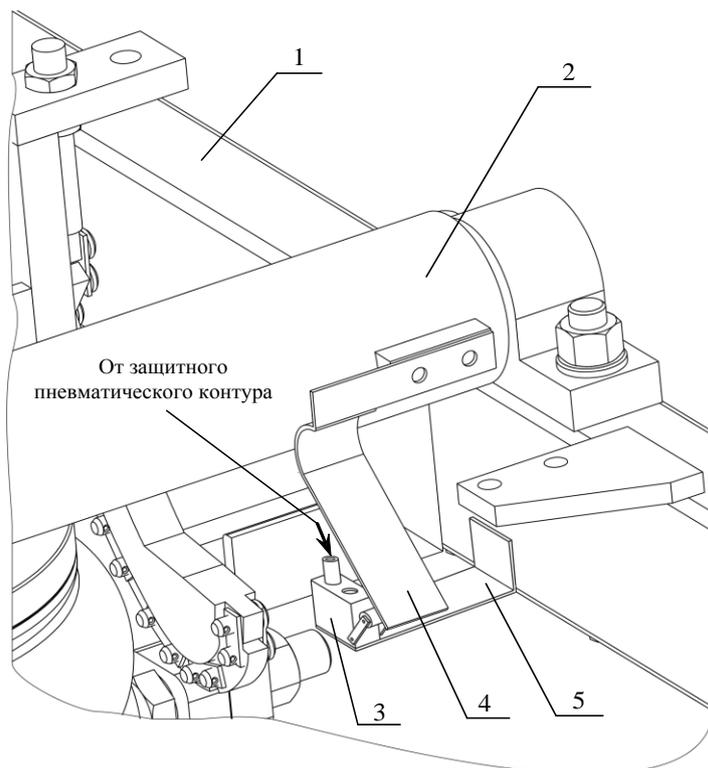


Рисунок 3 – Нижний рычаг токоприемника с устройством защиты при подъеме полоза на высоту больше допустимой: 1 – основание; 2 – вал нижнего рычага; 3 – пневматический мини-распределитель ПМР1; 4 – нажимная пластина; 5 – кронштейн

Предельно допустимая высота подъема полоза токоприемника задается расположением ПМР1 на кронштейне относительно нажимной пластины, выполненной гибкой для исключения повреждения ПМР1 в случае поворота нижнего рычага токоприемника на недопустимый угол. При подъеме токоприемника на высоту более допустимой нажимная пластина воздействует на ПМР1, который выпускает сжатый воздух из системы трубопроводов в атмосферу, подавая управляющий сигнал на опускание токоприемника, при этом происходит сброс давления из РКЭ и токоприемник автоматически опускается.

**Принцип действия устройства защиты при ударах и наездах на препятствия на контактной подвеске.** Нижняя штанга токоприемника выполнена телескопической и представляет собой две сочлененные и расположенные соосно тяги (рисунок 4), при этом диаметр полости одной тяги больше внешнего диаметра другой, что позволяет создать плунжерное соединение. Нижняя штанга токоприемника может удлиняться и укорачиваться в зависимости от прилагаемых к ней усилий, которые передаются на пороговый элемент, воздействующий с помощью ресоры на пневматический мини-распределитель (ПМР2), который выпускает сжатый воздух из системы трубопроводов в атмосферу, подавая управляющий сигнал на опускание токоприемни-

ка. Для регулировки уставки срабатывания устройства защиты используется хомут, который имеет возможность закрепления в различных позициях на рессоре.

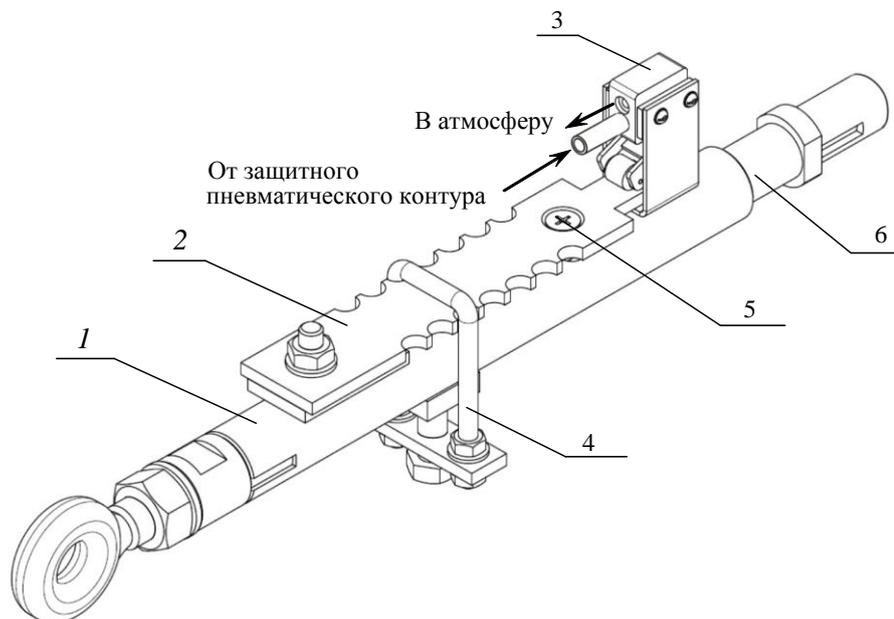


Рисунок 4 – Нижняя штанга токоприемника с устройством защиты при ударах и наездах на препятствия на контактной подвеске: 1 – неподвижная тяга; 2 – рессора; 3 – пневматический мини-распределитель ПМР2; 4 – хомут; 5 – пороговый элемент; 6 – подвижная тяга

Исполнение устройства защиты при ударах и наездах на препятствия на контактной подвеске обеспечивает восстанавливаемое расцепление нижней штанги токоприемника, что является приемлемым для условий эксплуатации. Восстановление целостности токоприемника возможно при подъеме обслуживающего персонала на крышу электроподвижного состава в условиях депо.

**Расчет параметров и характеристик предохранительных устройств.** Наибольший интерес представляет расчет характеристик и параметров устройства защиты при ударах и наездах на препятствия на контактной подвеске, который зависит от геометрических размеров звеньев токоприемника.

Исходными данными для расчета являются значения единичных перемещений, сил, моментов, определенных экспериментальным путем на базе лабораторного комплекса ОмГУПСа [7]. При продольном ударе, возникающем в результате наезда на препятствие на контактной подвеске, устройство обеспечивает упругое отклонение и складывание рам токоприемника. Это свойство системы подвижных рам токоприемника может быть оценено характеристикой продольной жесткости  $J_{\text{прод.р}}$ , представляющей собой отношение продольной силы к вызываемой ею продольной деформации системы подвижных рам:

$$J_{\text{прод.р}} = \frac{P_{\text{прод.р}}}{\Delta_{\text{прод.р}}} . \quad (1)$$

Тогда жесткость рессоры устройства определяется по формуле:

$$J_{\text{прод.т}} = \frac{P_{\text{прод.т}}}{\Delta_{\text{прод.т}}} . \quad (2)$$

Характеристика продольной жесткости рам токоприемника  $J_{\text{прод.р}}$  должна быть нелинейной (рисунок 5) и должна рассматриваться по трем зонам: нормальной, опасной и аварийной. В зоне нормальной работы необходимо нормировать продольную силу

$$P_{\text{прод.р}} = P_{\text{р}}f + P_{\text{у.т}}, \quad (3)$$

где  $P_{\text{р}}$  – статическое нажатие токоприемника, Н;  $f$  – коэффициент трения;  $P_{\text{у.т}}$  – продольная аэродинамическая сила токоприемника, Н.

В зоне нормальной работы сила  $P_{\text{прод.р}}$ , возникающая за счет силы трения полоза о контактные провода и продольной аэродинамической силы, не должна вызывать отклонения токоприемника при движении, а нижняя штанга в данном случае не должна проявлять своих упругих свойств. Величина силы  $P_{\text{прод.р}}$  регулируется перемещением хомута на рессоре устройства (на рисунке 5 –  $P'_{\text{прод.р}}$ ,  $P''_{\text{прод.р}}$ ,  $P'''_{\text{прод.р}}$ ).

В опасной зоне система подвижных рам токоприемника должна отклоняться под действием продольной силы, т. е. должна иметь определенную продольную жесткость. Величина этого отклонения (наклон характеристики, чувствительность) регулируется подбором жесткости пружины возвращающего устройства (при его наличии).

Аварийная зона определяется моментом срабатывания устройства защиты. При определенной жесткости рессоры величину этой силы  $P_{\text{прод.р}}$  можно регулировать уставкой срабатывания по перемещению (отклонению).

Значения продольной силы  $P_{\text{прод.р}}$  и продольного перемещения  $\Delta_{\text{прод.р}}$  следует нормировать – их рациональные значения должны быть определены в ходе натурных экспериментов для конкретных конструкций токоприемников.

Реальная характеристика продольной жесткости токоприемника отличается от идеальной за счет наличия нелинейной передачи влияющих величин от полоза к предохранительному устройству.

Поскольку в предлагаемом устройстве защиты отсутствует упругий элемент, то при расчете необходимо учитывать только зоны нормальной и аварийной работы.

Расчет устройства защиты при ударах и наездах на препятствия на контактной подвеске производился путем моделирования в программе SolidWorks с использованием разработанной модели токоприемника.

В результате моделирования определены продольные перемещения нижней штанги при перемещении верхнего узла токоприемника для двух случаев – при движении токоприемника «коленом» вперед (рисунок 6, а) и при движении «коленом» назад (рисунок 6, б). Поскольку исследуемый токоприемник представляет собой асимметричную конструкцию, то в первом случае будет происходить удлинение нижней штанги, а во втором – ее укорачивание.

Анализ полученных зависимостей (см. рисунок 6) показывает, что зависимость изменения длины нижней штанги от перемещения верхнего узла токоприемника практически одинакова как при движении токоприемника «коленом» вперед, так и при движении «коленом»

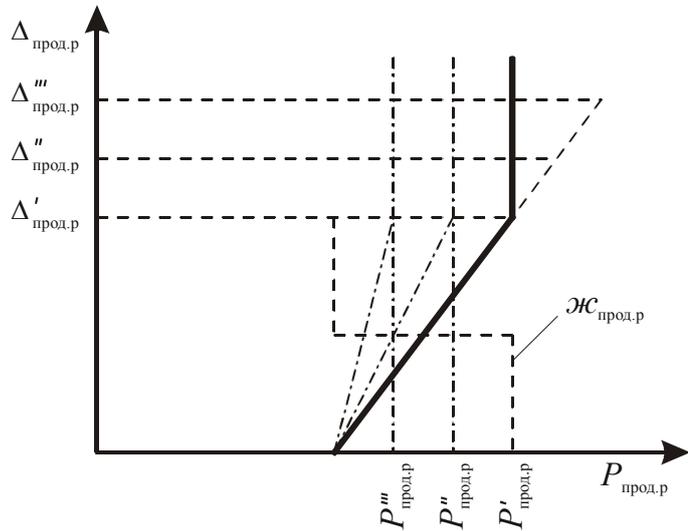
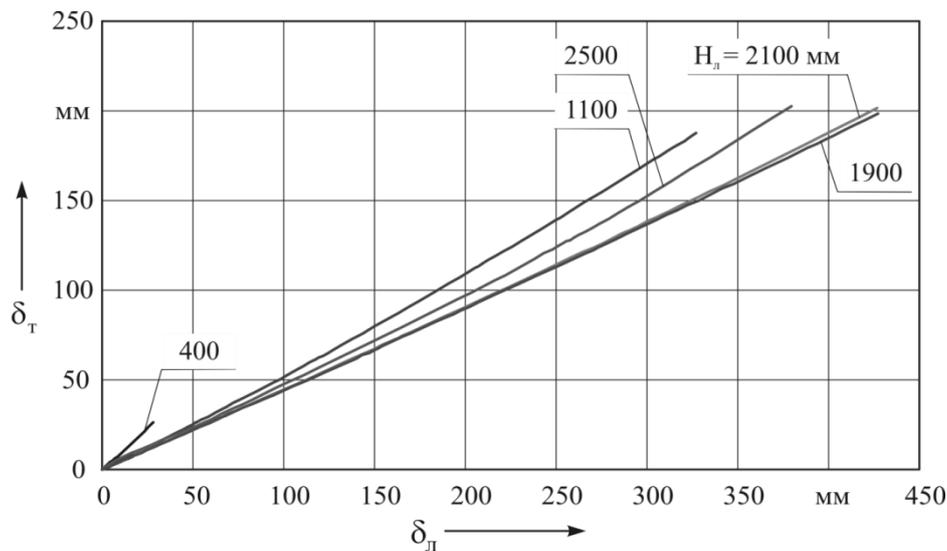
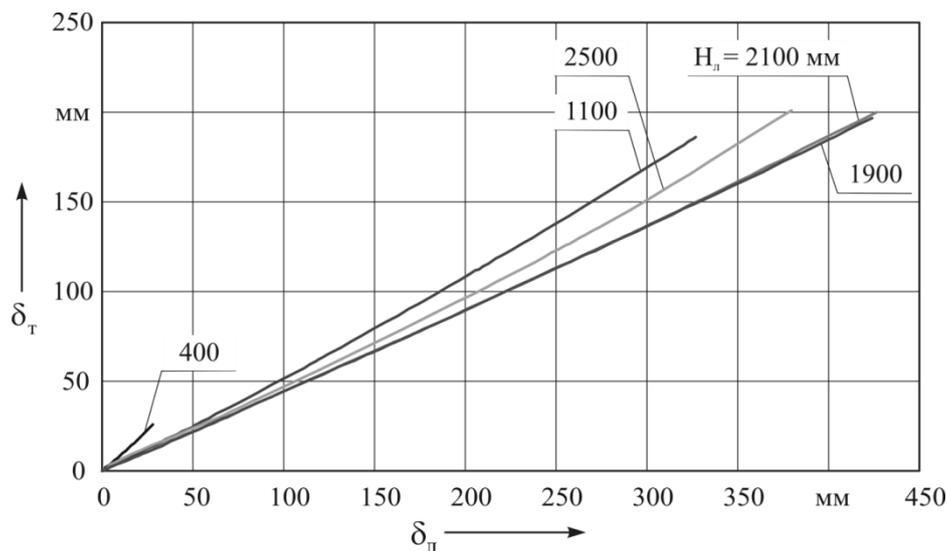


Рисунок 5 – Идеальная характеристика продольной жесткости рам токоприемника, оборудованного устройством защиты при ударах и наездах на препятствия на контактной подвеске

назад. Максимальное перемещение нижней штанги составляет 200 мм и ограничено радиусом кривошипа верхней системы подвижных рам токоприемника. Эти особенности необходимо учитывать при конструировании устройства защиты и выборе его параметров.



а



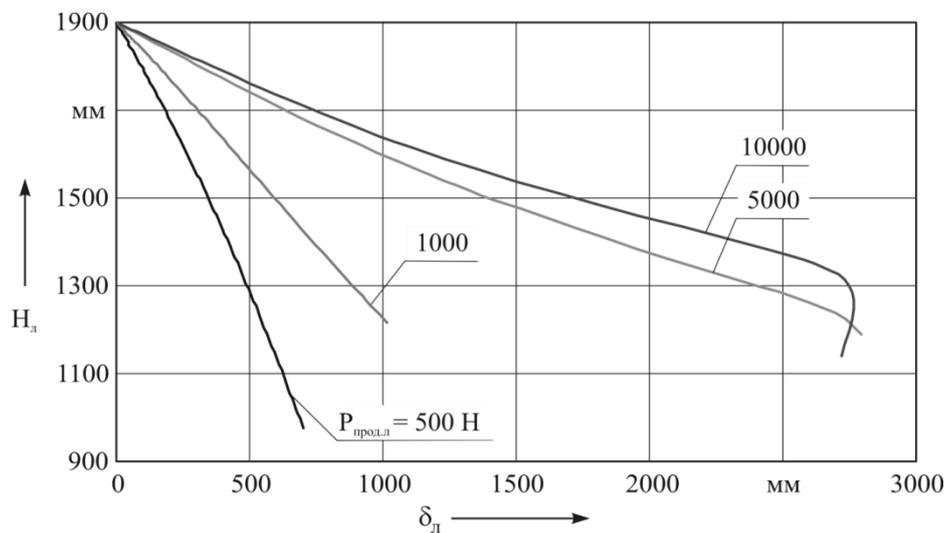
б

Рисунок 6 – Зависимость изменения длины нижней штанги от перемещения верхнего узла токоприемника: а – движение токоприемника «коленом» вперед (удлинение нижней штанги); б – движение токоприемника «коленом» назад (укорачивание нижней штанги)

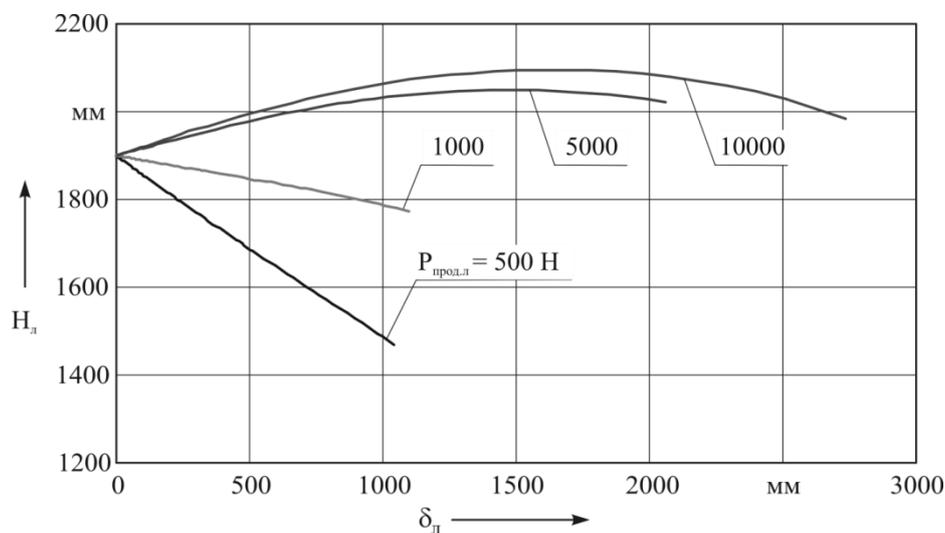
Для определения поведения токоприемника при наезде на препятствие необходимо знать траекторию перемещения верхнего узла токоприемника в зависимости от силы удара и скорости движения электроподвижного состава. В результате моделирования получены траектории перемещения верхнего узла токоприемника под действием различных прилагаемых сил при движении токоприемника «коленом» вперед (рисунок 7, а) и назад (рисунок 7, б). Высота подъема токоприемника при расчетах принимается равной 1900 мм, так как в этом случае возникают наибольшие перемещения верхнего узла.

Из полученных зависимостей (см. рисунок 7) видно, что асимметричный токоприемник должен двигаться «коленом» вперед, так как возникающие при этом силы трения полозьев о контактные провода и аэродинамические усилия будут способствовать опусканию токоприемника при его наезде на препятствие на контактной подвеске, что позволит локализовать

повреждения и уменьшить причиненный ущерб. При движении токоприемника «коленом» назад, т. е. в сторону, противоположную направлению движения электроподвижного состава, в месте контакта возникают повышенная сила трения и аэродинамическая сила, которые стремятся поднять токоприемник, что может привести к его «раскрытию» и повреждению всего анкерного участка контактной сети. Кроме того, траектория перемещения верхнего узла в значительной степени зависит от прикладываемой к нему силы, поэтому необходимо, чтобы при движении токоприемника «коленом» назад срабатывание устройства защиты происходило при меньшем значении силы удара (ударного импульса).



а



б

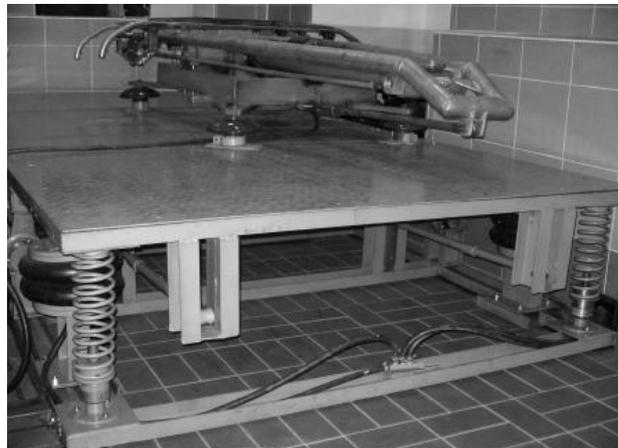
Рисунок 7 – Траектория перемещения верхнего узла токоприемника при различных прилагаемых силах: а – при движении токоприемника «коленом» вперед; б – при движении «коленом» назад

**Стендовые испытания предохранительных устройств токоприемника.** Испытания предохранительных устройств токоприемника проводятся с целью проверки минимально необходимых требований безопасности: основных технических показателей и параметров устройств аварийного опускания в соответствии с техническим регламентом «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 15.07.10 № 525 и техническим регламентом «О безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 15.07.10 № 533 [8].

Для проведения испытаний предохранительных устройств токоприемника в лаборатории ОмГУПС имеется ударно-колебательный комплекс для исследования взаимодействия токоприемника с контактной сетью [9], состоящий из следующих основных модулей (рисунок 8): имитации колебаний электроподвижного состава; имитации вертикальных и горизонтальных возмущений от контактной подвески; имитации ударных воздействий; управления; информационно-измерительного и дополнительного оборудования.



а



б

Рисунок 8 – Ударно-колебательный комплекс для исследования взаимодействия токоприемника с контактной сетью: а – внешний вид; б – модуль имитации колебаний электроподвижного состава

Исследуемый токоприемник, оборудованный устройством защиты при ударах и наездах на препятствия на контактной подвеске, устанавливается на платформу ударно-колебательного комплекса. Проверка срабатывания устройства защиты проводится для трех положений токоприемника:

- полз зафиксирован на наибольшей рабочей высоте;
- полз зафиксирован на высоте, составляющей 50 % от наибольшей рабочей;
- полз зафиксирован на наименьшей рабочей высоте.

Перед началом испытаний производится подъем токоприемника в рабочее положение таким образом, чтобы полз касался контактного провода (рисунки 9, 10). Сила статического нажатия токоприемника должна быть отрегулирована в соответствии с его паспортом. Далее прикладывают к середине полза поочередно с обеих сторон горизонтальный импульс  $p$  посредством модуля имитации ударных воздействий.

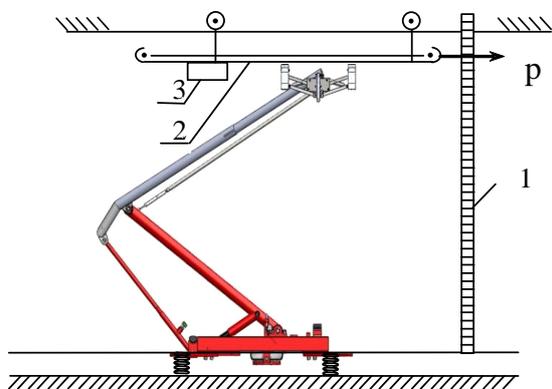


Рисунок 9 – Схема для проверки работы устройства защиты от ударов и наезда на препятствие токоприемника:

- 1 – измерительная линейка; 2 – контактный провод;
- 3 – боек модуля имитации ударных воздействий



Рисунок 10 – Боек модуля имитации ударных воздействий

Время между ударом бойка о полоз и последующим его опусканием на 300 мм (время срабатывания защиты от ударов и наезда на препятствие) определяют по секундомеру. Начало и конец движения полоза фиксируют с помощью высокоскоростной видеокамеры. По результатам испытаний делается вывод о работоспособности предохранительных устройств токоприемника.

В заключение стоит отметить, что новые разработки в области предохранительных устройств позволяют увеличить надежность работы токоприемников электроподвижного состава и повысить безопасность при организации скоростного движения поездов.

## Список литературы

1. Стратегия развития железнодорожного транспорта Российской Федерации до 2030 года [Текст]: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 17 июня 2008 г. № 878-р. – М., 2008. – 96 с.

2. Энергетическая стратегия холдинга «Российские железные дороги» на период до 2015 года и на перспективу до 2030 года [Текст]: Распоряжение ОАО «Российские железные дороги» от 15 декабря 2011 г. № 2718р. М., 2012. – 97 с.

3. Разработка контактной сети для ВСМ России [Текст] / А. Г. Галкин, В. А. Иванов и др. // Инновационный транспорт / Уральский гос. ун-т путей сообщения. – Екатеринбург. – 2011. – № 1 (1). – С. 16 – 22.

4. ГОСТ 32204-2013. Токоприемники железнодорожного электроподвижного состава. Общие технические условия [Текст] / Межгосударственный стандарт. – М.: Стандартинформ, 2014. – 34 с.

5. Пат. 115725 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> В 60 L 5/32. Асимметричный токоприемник электроподвижного состава [Текст] / Сидоров О. А., Чертков И. Е., Заренков С. В., Тарасенко А. В., Емельянов М. В.; заявитель и патентообладатель Омский гос. ун-т путей сообщения. – 2011153146/11; заявл. 26.12.2011; опубл. 10.05.2012, Бюл. № 13.

6. Чертков, И. Е. Разработка предохранительной системы измерительного токоприемника высокоскоростного электроподвижного состава [Текст] / И. Е. Чертков, М. В. Емельянов // Актуальные проблемы проектирования и эксплуатации контактных подвесок и токоприемников электрического транспорта: Сб. науч. статей с междунар. участием / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2011. – С. 212 – 221.

7. Михеев, В. П. Разработка и исследование автоматических предохранительных устройств токоприемников электроподвижного состава, обеспечивающих безопасность движения скоростных поездов [Текст] / В. П. Михеев, И. Е. Чертков // Исследование процессов взаимодействия объектов железнодорожного транспорта с окружающей средой: Сб. науч. статей / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2003. – С. 119 – 133.

8. Заренков, С. В. Испытания магистрального токоприемника для применения на линиях с модернизированной инфраструктурой токосъема [Текст] / С. В. Заренков, О. А. Сидоров, А. Н. Смердин // Инновационный транспорт / Уральский гос. ун-т путей сообщения. – Екатеринбург. – 2013. – № 1 (7). – С. 23 – 28.

9. Пат. 2469879 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> В 60 L 5/00. Устройство для динамических испытаний токоприемников электроподвижного состава [Текст] / Сидоров О. А., Смердин А. Н., Чертков И. Е., Заренков С. В.; заявитель и патентообладатель Омский гос. ун-т путей сообщения. – 2011120705/11; заявл. 20.05.2011; опубл. 20.12.2012, Бюл. № 35.

## References

1. *Strategiya razvitiya zheleznodorozhnogo transporta Rossiiskoi Federatsii do 2030 goda. Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 17.06.2008, № 878-p* (Strategy of development of railway transport of the Russian Federation till 2030. Order of the Government of the Russian Federation of 17.06.2018 no. 878-r), Moscow, 2008, 96 p.

2. *Energeticheskaya strategiya kholdinga «Rossiiskie zheleznye dorogi» na period do 2015 goda i na perspektivu do 2030 goda. Rasporyazhenie OAO «Rossiiskie zheleznye dorogi» ot*

15.12.2011, № 2718р (Power strategy of Russian Railways holding for the period till 2015 and on prospect till 2030. Order of JSC «Russian Railways» of 15.12.2011 no. 2718р), Moscow, 2012, 97 p.

3. Galkin A. G., Ivanov V. A., Kudryashov E. V., Kovalev A. A. Development of a contact network for VSM of Russia [Razrabotka kontaktnoi seti dlya VSM Rossii]. *Innovatsionnyi transport – Innovative transport*, 2011, no. 1 (1), pp. 16 – 22.

4. Tokopriemniki zheleznodorozhnogo elektropodvizhnogo sostava. *Obshchie tekhnicheskie usloviya, GOST 32204-2013* (Current collectors of a railway electrification stock. General specifications, State Standard 32204-2013), Moscow, Standartinform, 2014, 34 p.

5. Sidorov O. A., Chertkov I. E., Zarenkov S. V., Tarasenko A. V., Emel'yanov M. V. *Patent RU 115725*, 26.12.2011.

6. Chertkov I. E., Emel'yanov M. V. Development of safety system of a measuring current collector of a high-speed electrification stock. Actual problems of design and operation of contact suspension brackets and current collectors of electric transport [Razrabotka predokhranitel'noi sistemy izmeritel'nogo tokopriemnika vysokoskorostnogo elektropodvizhnogo sostava. Aktual'nye problemy proektirovaniya i ekspluatatsii kontaktnykh podvesok i tokopriemnikov elektricheskogo transporta]. *Sbornik nauchnykh statei s mezhdunarodnym uchastiem* (The collection of scientific articles with the international participation). – Omsk, 2011, pp. 212 – 221.

7. Mikheev V. P., Chertkov I. E. Development and research of automatic safety devices of the current collectors of an electrification stock ensuring traffic safety of high-speed trains. Research of processes of interaction of objects of railway transport with environment [Razrabotka i issledovanie avtomaticheskikh predokhranitel'nykh ustroystv tokopriemnikov elektropodvizhnogo sostava, obespechivayushchikh bezopasnost' dvizheniya skorostnykh poezdov. Issledovanie protsessov vzaimodeystviya ob"ektov zheleznodorozhnogo transporta s okruzhayushchei sredoi]. *Sbornik nauchnykh statei* (Collection of scientific articles). – Omsk, 2003, pp. 119 – 133.

8. Sidorov O. A., Smerdin A. N., Zarenkov S. V. Tests of the main current collector for application on lines with the modernized infrastructure of system of removal of current [Ispytaniya magistral'nogo tokopriemnika dlya primeneniya na liniyakh s modernizirovannoi infrastrukturoid tokos"ema]. *Innovatsionnyi transport – Innovative transport*, 2013, no. 1 (7), pp. 23 – 28.

9. Sidorov O. A., Smerdin A. N., Chertkov I. E., Zarenkov S. V. *Patent RU 2469879*, 20.05.2011.

УДК 629.4 (23.3:064.5)

П. Ю. Иванов, Е. Ю. Дульский, А. И. Романовский

## ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ АСИНХРОННЫХ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МАШИН ЭЛЕКТРОВЗОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА ВСЖД

В данной статье проанализированы условия работы асинхронных вспомогательных машин (АВМ) электровозов переменного тока, в основном эксплуатируемых на сети Восточно-Сибирской железной дороги. Представлены экспериментальные данные по зависимости фазных токов двигателя АНЭ225 электровоза ВЛ85 от величины напряжения питания, продолжительность пуска МК с асинхронным двигателем в зависимости от напряжения контактной сети, изменение момента сопротивления компрессора в зависимости от температуры воздуха. Рассмотрены особенности работы АВМ, в частности их поочередный запуск от обмотки собственных нужд тягового трансформатора. Проведена систематизация условий эксплуатации, воздействующих на изоляцию АВМ с целью оптимизации параметров слежения за темпом их износа, в результате которой выделено два основных фактора старения изоляции – перегревы и вибрация – и один фактор, повышающий вероятность отказа независимо от степени старения изоляции – ее увлажненность.

Значительная часть отказов АВМ электровозов переменного тока вызвана снижением уровня изоляционных свойств вследствие низкого качества изготовления и плохого обслужи-

живания, что в свою очередь приводит к ускоренному старению изоляции. Сюда следует отнести повышенную загрязненность обмоток и частые увлажнения, перегревы из-за перегрузок и плохого охлаждения электродвигателей. Работоспособность изоляции снижается также из-за повышенных вибраций и частых электродинамических ударов при пусках. Эксплуатационный износ изоляции обмоток электродвигателя резко повышает вероятность их повреждения по сравнению с другим электрооборудованием электровозов.

Установлено, что АВМ ЭПС переменного тока работают при следующих сложных условиях.

1. Изменение напряжения питания от +25 до -39 % от номинального значения.
2. Коэффициент несимметрии напряжения  $K_u = U_0/U_n$  до 0,10 (здесь  $U_0$  и  $U_n$  – соответственно напряжение обратной и прямой последовательности).
3. Коэффициент несимметрии фазных токов  $K_i = I_0/I_n$  до 0,70. Здесь  $I_0$  и  $I_n$  – токи прямой и обратной последовательности, когда значения токов в фазах при крайних значениях напряжения в контактной сети различаются более чем в два раза (рисунок 1).

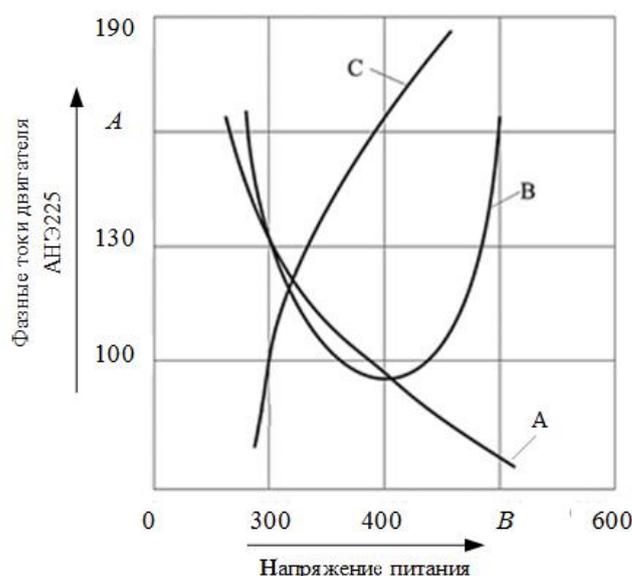


Рисунок 1 – Зависимости фазных токов двигателя АНЭ225 от величины напряжения питания

4. Снижение вращающего момента до 0,372 от номинального при снижении напряжения с 380 до 280 В (рисунок 2, а).
5. Увеличенная продолжительность пуска мотор-компрессоров (МК) из-за существенно уменьшения вращающего момента при понижении питающего напряжения (рисунок 2, б).
6. Значительное возрастание момента сопротивления компрессоров при низкой температуре воздуха (рисунок 2, в).



Рисунок 2 – Влияние эксплуатационных факторов на АВМ:

- а – механические характеристики двигателя АНЭ225 при напряжении питания 380 (1) и 280 (2) В;
- б – продолжительность пуска МК с асинхронным двигателем в зависимости от напряжения контактной сети;
- в – изменение момента сопротивления компрессора в зависимости от температуры воздуха

7. Изменение условий охлаждения машин из-за существенного перепада температур: от  $-50$  до  $+50$  °С.

В работе А. В. Невинского [1] представлены результаты изучения воздействия коммутационных процессов, происходящих в выпрямительно-инверторном преобразователе (ВИПе), на качество энергии питания АВМ. В результате исследования установлено, что фазные токи имеют искажения и их формы отличны от синусоидальных. Так, при работе электровоза в режиме тяги в середине четвертой зоны регулирования при напряжении  $U_{кв} = 27,5$  кВ и максимальной нагрузке тяговых двигателей при консольном питании ток вспомогательных двигателей имеет вид, показанный на рисунке 3.

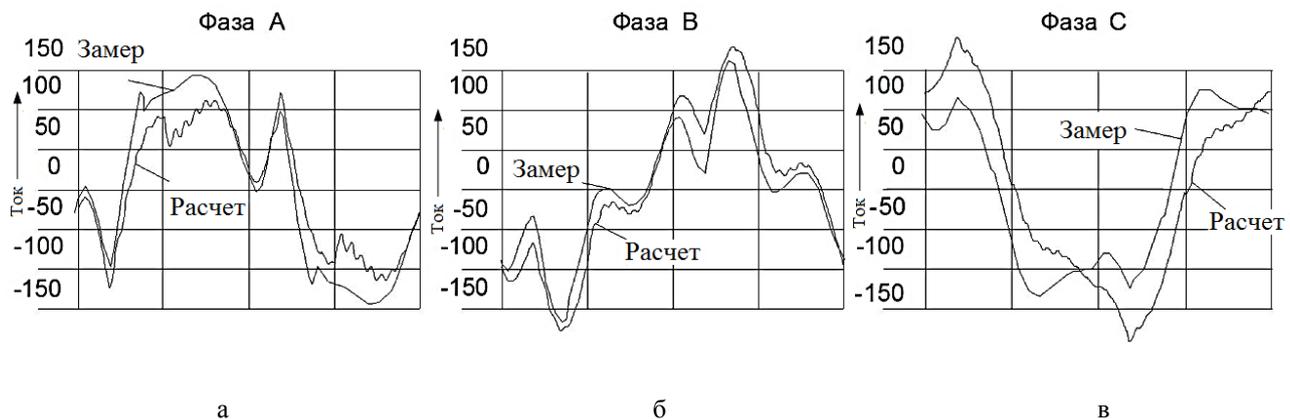


Рисунок 3 – Фазные токи АВМ, полученные в результате численного эксперимента и замера на электровозе ВЛ85

В конструкции большинства серийных отечественных электровозов переменного тока для питания АВМ использован электромашинный фазорасщепитель с пусковыми и симметрирующими конденсаторами. На электровозах серий «Ермак», ЭП1, ВЛ65 была произведена попытка применения схемы статического фазорасщепителя, в которой отсутствовал асинхронный двигатель без нагрузки на валу, но данное решение привело к резкому увеличению числа отказов АВМ электровозов серии «Ермак». Было принято решение о переходе к схеме питания АВМ «с пусковым двигателем». Данная схема является аналогом систем фазорасщепления электровозов ВЛ60, ВЛ80, ВЛ85.

Особенности качества питающей АВМ энергии в схемах перечисленных выше электровозов представлены в работе [2]. Группы машин работают в условиях непостоянной и часто повышенной несимметрии и существенно влияют друг на друга.

Трехфазные машины питаются от однофазной сети по схеме «звезда», две их фазы подключаются к обмотке собственных нужд тягового трансформатора и являются двигательными, а третьи фазы всех двигателей соединяются между собой и являются генераторными. Напряжение в обмотке собственных нужд и соответственно в двигательных фазах снижается с увеличением количества работающих машин, а напряжение в генераторной фазе, напротив, растет, так как вращающееся магнитное поле каждой машины дополнительно индуцирует в ней ЭДС, что приводит к существенному изменению коэффициентов несимметрии токов и напряжений. Также значительное влияние оказывает снижение напряжения в контактной сети (КС), от этого явления напрямую зависит напряжение двигательных фаз.

Степень нестабильности параметров энергии, питающей АВМ электровозов переменного тока, наглядно продемонстрирована на рисунке 4.

Из данных характеристик видно, что при номинальном питающем напряжении  $\cos\phi$  сети составляет  $0,86 - 0,88$ , а коэффициент несимметрии напряжений не превышает  $1\%$ , однако можно заметить существенный разброс параметров при отклонении напряжения. Как известно, несимметрия напряжения и тока фаз ведет к перегреву двигателей и снижает момент на валу.

Высокая плотность графика движения поездов на ВСЖД способствует частой работе электровозов с минимальным интервалом и попаданию на одну фидерную зону с преодолением подъемов различной сложности. Такие особенности работы приводят к постоянным отклонениям напряжения питания АВМ от номинального значения, вызывая несимметрию, понижение момента на валу и перегревы, которые невозможно вычислить и учесть эмпирически.

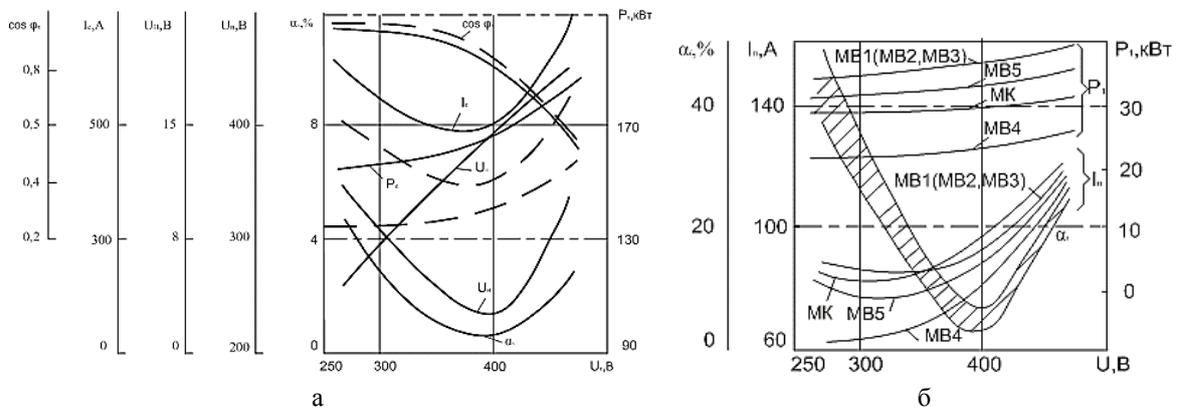


Рисунок 4 – Зависимости параметров режима работы системы вспомогательных машин электровоза ВЛ85 от напряжения питания однофазной сети (одна секция):

а – параметры режима работы питающей трехфазной системы; б – то же приводных электродвигателей АНЭ225Л4УХЛ2;  $P_i$  – потребляемая электродвигателем мощность;  $I_n$  – фазный ток прямой последовательности;  $\alpha_i$  – зона разброса коэффициентов несимметрии токов машин;  $I_c$  – ток сети;  $U_n$  – напряжения прямой последовательности;  $U_u$  – напряжение обратной последовательности;  $\alpha_v$  – коэффициент несимметрии напряжения;  $P_c$  – мощность, потребляемая из сети

На рисунке 5 построена зависимость времени пуска МВ от величины напряжения при поочередном их включении [2].

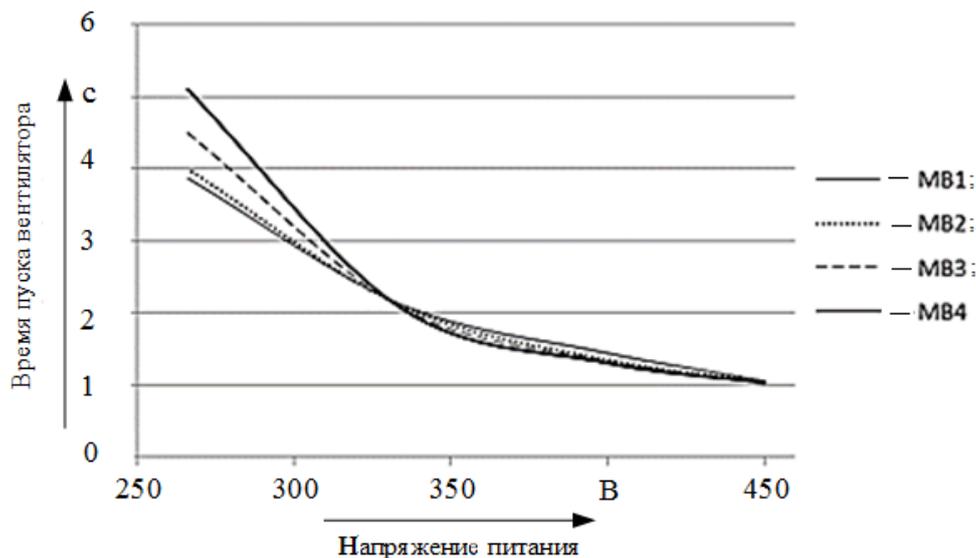


Рисунок 5 – Зависимость времени пуска МВ от величины напряжения при поочередном их включении

Можно заметить, что при повышенном и нормальном напряжении каждый последующий двигатель запускается за более короткое время, а при пониженном каждый последующий двигатель запускается дольше. Длительные пуски вредны для двигателей в силу действия на обмотку высоких пусковых токов, которые могут вызывать локальные перегревы и привести к ее ускоренному старению. Кроме того, возрастает вероятность опрокидывания машины.

Можно подчеркнуть различия длительности пусковых нагрузок на машины от поочередности их пусков, что делает износ изоляции неравномерным и варьирует вероятность опрокидывания двигателей, создавая погрешности при вычислении показателей надежности. Включение очередного двигателя при работе электровоза вызывает «просадку» напряжения обмотки собственных нужд и повышает напряжение генераторной фазы, тем самым изменяя симметрию напряжения.

Пуски машин происходят по алгоритмам, учтенным в эксплуатационных инструкциях, поэтому для двигателей каждого механизма существуют типичные режимы пуска и работы, оказывающие влияние на их надежность, и, как следствие, низкие показатели надежности демонстрирует МВ1 и МК. Однако при анализе наработок на отказ АВМ по механизмам законов распределения выявлено не было, так как существуют и другие факторы старения.

На срок службы двигателя оказывает влияние режим его работы. Особенности эксплуатации АВМ электровоза таковы, что двигатели эксплуатируются в трех режимах:

S1 – длительный, в котором двигатель нагревается до установившейся температуры и работает в таких условиях большую часть цикла; к таким машинам можно отнести МВ охлаждения предельно нагруженного оборудования, ФР и МН;

S2 – кратковременный, в котором двигатель не достигает установившегося значения температуры, а за время паузы между циклами остывает до температуры окружающей среды; в таком режиме иногда работает МВ обдува балластных резисторов;

S3 – повторно-кратковременный, режим работы с циклическим характером, при котором значение температуры в период паузы между включениями не успевает уравниваться с окружающей средой. На электровозах в данном режиме работают МК.

Для каждого режима характерен свой темп износа изоляции, однако двигатель в процессе обслуживания и ремонта локомотивов может быть заменен или переустановлен с МВ на МК и за жизненный цикл может сменить несколько механизмов.

К эксплуатационным особенностям АВМ электровозов переменного тока можно отнести также повышенный уровень вибрации, зависящий от несимметрии тока и напряжения, небаланс ротора и вибрационный фон, создаваемый приводимыми в движение или работающими рядом механизмами. По результатам исследований можно увидеть наличие зависимости вибрации от коэффициента несимметрии [3] и степень вибрационного фона в машинном отделении электровоза.

В силу того, что в машинном отделении электровоза мало пространства и отсутствует теплоизоляция, вокруг АВМ в летний период температура поднимается до +50 – 65 °С. Это обостряется плотным расположением постоянно греющегося силового оборудования. Все это ведет к серьезным изменениям условий охлаждения и влияет на скорость нагрева машин до установившегося значения, увеличивая вероятность перегрева и ускоренного старения изоляции. В зимний же период опасность заключается в увеличении вязкости масла картера компрессора, вследствие которого повышается момент сопротивления механизма, что может привести в худшем случае к опрокидыванию машины, а при благоприятных условиях – к затянувшемуся пуску и сокращению срока службы изоляции.

Проведена систематизация условий эксплуатации, воздействующих на изоляцию АВМ с целью оптимизации параметров слежения за темпом их износа, в результате которой выделено два основных фактора старения изоляции – перегревы и вибрация – и один фактор, повышающий вероятность отказа независимо от степени старения изоляции – ее увлажненность (рисунок 6).

Основным по степени значимости фактором, влияющим на надежность изоляции, является тепловой износ, это подтверждается множеством исследований, к числу которых относятся [4]; в классической теории тепловой износ является определяющим срок службы фактором, однако в работе [4] доказывается существенность влияния на надежность изоляции пусковых нагрузок и вибрационного воздействия. В работе Т. Е. Минаковой [5] описаны способы учета вибрации при мониторинге состояния изоляции. Увлажнение изоляции необ-

ходимо учитывать в процессе мониторинга, так как оно может привести к пробую даже новой изоляции.



Рисунок 6 – Систематизация разрушающих факторов, снижающих надежность изоляции АВМ электровозов переменного тока

## Список литературы

1. Невинский, А. В. Совершенствование системы питания вспомогательных электроприводов электровозов переменного тока [Текст]: автореферат дис... канд. техн. наук: 05.09.03 / Невинский Алексей Владимирович. М., 2011. 22 с.
2. Некрасов, О. А. Вспомогательные машины электровозов переменного тока [Текст] / О. А. Некрасов, А. М. Рутштейн. – М.: Транспорт, 1988. – 223 с.
3. Романовский, А. С. Динамика вентиляционных машин с асинхронным электроприводом при несимметрии фазных токов [Текст]: дис... канд. техн. наук: 01.02.06 / Романовский Александр Игоревич. – Иркутск, 2012. – 219 с.
4. Гольдберг, О. Д. Качество и надежность асинхронных двигателей [Текст] / О. Д. Гольдберг. – М.: Энергия, 1968. – 176 с.
5. Минакова, Т. Е. Многофакторное прогнозирование срока службы трехфазных асинхронных электродвигателей 0,4 кВ по эксплуатационным параметрам [Текст]: дисс... канд. техн. наук: 05.14.02 / Минакова Татьяна Евгеньевна. – Ставрополь, 2002. – 150 с.

## References

1. Nevinskiy A. V. *Sovershenstvovanie system pitaniia vspomogatel'nyh mashyn elektroprivodov elektrovozov peremennogo toka* [Improving the system of auxiliary power electric locomotives AC]. Ph. D. thesis, Moscow, 2011, 22 p.
2. Nekrasov O. A. *Vspomogatel'niye mashiny elektrovozov peremennogo toka* (Auxiliary machine of electric locomotives AC). Moscow, 1988, 223 p.
3. Romanovskiy A. I. *Dinamica ventilacionnyh mashin s asinhronnym elektroprivodom pri nessimetrii faznyh tokov* [Dynamics of ventilation machines with AC electric drive at asymmetry of the phase currents]. Ph. D. thesis, Moscow, 2011, 22 p.
4. Goldberg O. D. *Kachestvo i nadezhnost' asinhronnyh dvigateley* (Quality and reliability of induction motors). Moscow: Energy, 1968, 176 p.
5. Minakova T. E. *Mnogofaktornoe prognozirovaniye sroka slughby trehfaznyh asinhronnyh elektrodvigateley 0,4 kV po ekspluatacionnym parametram* [Multifactor life prediction of three-phase

asynchronous motors with operating parameter 0.4 kW]. Ph. D. thesis, Stavropol', 2002, 150 p.

УДК 629.4.027.4.004.58

В. Н. Костюков, Д. В. Казарин, А. В. Костюков, А. В. Зайцев

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ КОЛЕСНО-МОТОРНЫХ БЛОКОВ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ

*В статье приведены результаты экспериментальных исследований диагностических признаков узлов колесно-моторных блоков (КМБ) от частоты вращения колесной пары. Определены параметры распределения диагностических признаков и предложен способ, обеспечивающий повышение достоверности диагностирования КМБ электропоездов.*

Важнейшей задачей железнодорожного транспорта является обеспечение безопасности перевозочного процесса. Решить данную задачу позволяют системы диагностики узлов и агрегатов подвижного состава, одним из наиболее ответственных узлов является колесно-моторный блок.

Целью данной работы является обоснование способа диагностирования колесно-моторных блоков электропоездов, обеспечивающего повышение достоверности диагностирования.

В данной работе решены следующие задачи.

1. Проведены экспериментальные исследования по определению зависимости диагностических признаков (средние квадратические значения виброускорения  $A_e$ ) подшипниковых узлов колесно-моторных блоков электропоездов от частоты вращения колесной пары (КП).

2. Определены параметры распределений диагностических признаков.

3. Описан способ диагностирования КМБ электропоездов.

4. Показаны расчеты ошибок диагностирования первого и второго рода (ложной тревоги и пропуска дефекта) и вероятности безошибочного диагностирования.

Основной задачей диагностирования является распознавание технического состояния узлов и агрегатов и разделение их на классы – исправные и неисправные, что связано с риском ложной тревоги и пропуска дефекта.

При реализации любого способа диагностирования буксовых узлов КМБ существуют вероятность ошибки ложной тревоги и вероятность ошибки пропуска дефекта.

В условиях эксплуатации подвижного состава пропуск дефекта способен привести к разрушению узла, что может повлечь за собой не только дорогостоящий неплановый ремонт, сбой в графике движения поездов, но и вызвать техногенную опасность и (или) транспортную аварию. Ложная тревога, в свою очередь, приводит к проведению дополнительных работ для узлов, не требующих обслуживания, после которых фактическое техническое состояние узла может только ухудшиться, из-за чего снизится эксплуатационная готовность подвижного состава.

В работах [1, 2] показано, что на величину параметров вибрации подшипниковых узлов КМБ влияет частота вращения колесной пары.

С целью определения характера зависимости диагностических признаков от частоты вращения проведены эксперименты по измерению параметров вибрации подшипниковых узлов КМБ электропоездов. Данные эксперименты проводились с помощью системы диагностики колесно-моторных блоков КОМПАКС®-ЭКСПРЕСС-ТР1 [9]. В ходе экспериментов проведены записи сигналов вибрации с узлов КМБ на различных скоростных режимах (в том числе

240 и 420 об/мин). Испытаниям подверглись свыше 300 КМБ, что обеспечило надежность опыта на уровне 0,99 с предельной ошибкой  $\Delta = 0,1$  [3].

В результате получены зависимости параметров вибрации (диагностических признаков) от частоты вращения колесной пары. В таблице приведены статистические параметры распределения виброускорения для исправных и дефектных буксовых узлов КМБ электропоездов ЭД4М при частотах вращения колесной пары 240 об/мин (наиболее распространенная частота вращения при испытаниях) и 420 об/мин (предельно допустимая частота вращения из соображений безопасности проведения испытаний). Будем считать 240 об/мин базовой частотой вращения, а 420 об/мин – повышенной частотой вращения.

Параметры распределения значений виброускорения буксовых узлов КМБ электропоездов при двух значениях частоты вращения колесной пары

| Частота вращения КП, об/мин | Виброускорение, $m/s^2$ |                        |                         |                        |
|-----------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
|                             | исправные узлы          |                        | неисправные узлы        |                        |
|                             | математическое ожидание | стандартное отклонение | математическое ожидание | стандартное отклонение |
| $n_1=240$                   | $M_{c1} = 1,59$         | $\sigma_{c1} = 0,62$   | $M_{d1} = 5,73$         | $\sigma_{d1} = 2,07$   |
| $n_2=420$                   | $M_{c2} = 2,21$         | $\sigma_{c2} = 1,02$   | $M_{d2} = 12,73$        | $\sigma_{d2} = 5,57$   |

В работах [1, 2] установлен факт более резкого увеличения значений параметров вибрации, например, виброускорения, с ростом частоты вращения для неисправных узлов по сравнению с исправными. С целью повышения достоверности диагностирования подшипниковых узлов КМБ электропоездов исследовано распределение диагностических признаков при различных значениях частоты вращения КП.

Для описания распределения параметров диагностических признаков будем использовать логнормальное распределение, которое не имеет отрицательных значений и представляет собой распределение вероятностей неотрицательной случайной величины, логарифм которой распределен по нормальному закону.

Логарифмически нормальное распределение во многом более точно, чем нормальное, описывает наработку до отказа тех объектов, у которых отказ возникает вследствие усталости, например, подшипников качения [4].

Ошибки диагностирования первого и второго рода можно определить по методу минимакса [5], т. е. минимизации максимальной ошибки.

Величина ошибок определяется как проекция точки пересечения функции распределения диагностических признаков дефектных узлов  $F_{dj}(X_i)$  с обратной функцией распределения диагностических признаков исправных узлов  $1 - F_{cj}(X_i)$  на ось вероятности распределения, где  $X_i$  – значение диагностического признака  $i$ -го объекта;  $F_j(X_i)$  – функция распределения значений диагностических признаков  $X_i$  для  $j$ -го сопутствующего фактора.

В качестве сопутствующего фактора используем частоту вращения колесной пары при проведении диагностирования.

В основе диагностирования оборудования лежит принцип сравнения измеренного значения диагностического признака с критическим значением, по результатам которого определяют техническое состояние объекта [5].

Ошибки пропуска дефекта и ложной тревоги при диагностировании с частотой вращения  $n_1$  и  $n_2$  по методу минимакса определяются по формулам:

$$Q_{\text{ПД}}(X_{\text{кр1}}) = Q_{\text{ЛТ}}(X_{\text{кр1}}) = F_{d1}(X_{\text{кр1}}) = 1 - F_{c1}(X_{\text{кр1}}); \quad (1)$$

$$Q_{\text{ПД}}(X_{\text{кр2}}) = Q_{\text{ЛТ}}(X_{\text{кр2}}) = F_{d2}(X_{\text{кр2}}) = 1 - F_{c2}(X_{\text{кр2}}); \quad (2)$$

где  $X_{\text{кр1}}, X_{\text{кр2}}$  – критическое значение диагностического признака при частоте вращения колесной пары  $n_1$  и  $n_2$ .

Критические значения диагностического признака, а также ошибки пропуска дефекта и ложной тревоги по методу минимакса можно определить графически (рисунок 1).

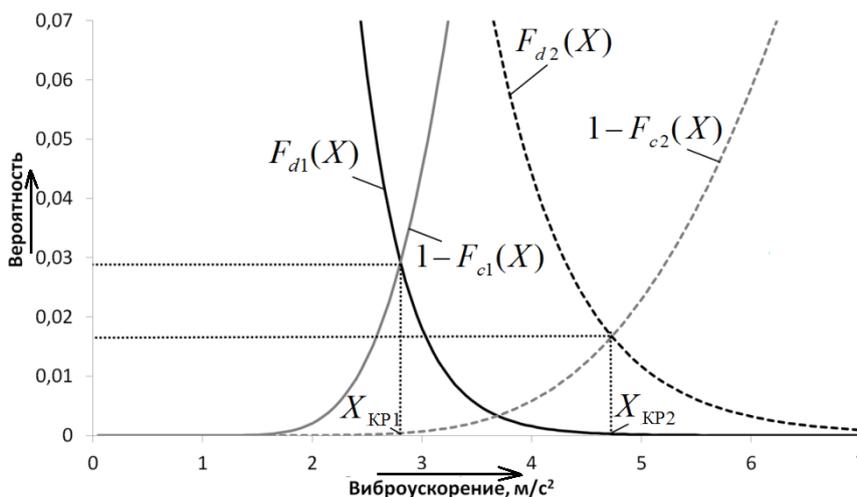


Рисунок 1 – Расчет ошибок диагностирования и критического значения диагностического признака

Для виброускорения буксы (см. таблицу и рисунок 1) ошибки пропуска дефекта и ложной тревоги:

$$Q_{\text{ПД}}(X_{\text{КР1}}) = Q_{\text{ЛТ}}(X_{\text{КР1}}) = 0,029; \quad (3)$$

$$Q_{\text{ПД}}(X_{\text{КР2}}) = Q_{\text{ЛТ}}(X_{\text{КР2}}) = 0,017. \quad (4)$$

В качестве меры надежности процесса измерений используют вероятность безошибочного диагностирования, определяемую по формуле [6]:

$$P = 1 - (Q_{\text{ПД}} + Q_{\text{ЛТ}}). \quad (5)$$

Для параметров, приведенных в таблице 1, получим вероятность безошибочного диагностирования при частоте вращения колесной пары  $n_1$  и  $n_2$ :  $P_1 = 0,942$ ;  $P_2 = 0,966$ .

Как видно, диагностирование КМБ на повышенной частоте вращения обеспечивает вероятность безошибочного диагностирования больше, чем при диагностировании на базовой частоте вращения. Однако использование повышенной частоты вращения в качестве основной увеличивает энергетические затраты и продолжительность проведения испытаний, а также может снизить уровень безопасности при проведении испытаний за счет возможной ненадежной установки колесной пары на домкраты.

С целью повышения достоверности диагностирования [7] роторных агрегатов при одновременном сокращении затрат на диагностирование авторами предложен способ диагностики [8], заключающийся в том, что проводят испытания на двух скоростных режимах – при базовой и повышенной частоте вращения, при которой лучше разделяются исправное и неисправное технические состояния. При этом дополнительное испытание проводят в случае попадания значения диагностического признака в зону неопределенности при первом испытании на базовой частоте вращения [9]. Зона неопределенности ограничена верхним  $X_{\text{в}}$  и нижним  $X_{\text{н}}$  критическими значениями диагностического признака. Под зоной неопределенности понимается диапазон значений диагностического признака, при котором техническое состояние объекта однозначно не определено.

Вероятность того, что значения диагностических признаков неисправных узлов при диагностировании с частотой вращения  $n_1$  окажутся ниже нижнего критического значения, определим по формуле:

$$P_d(X < X_H) = \Phi^* \left( \frac{X_H - M_{d1}}{\sigma_{d1}} \right), \quad (6)$$

где  $\Phi^*(x)$  – логнормальная функция распределения.

Вероятность того, что значения диагностических признаков исправных узлов при диагностировании с частотой вращения  $n_1$  окажутся выше верхнего критического значения, определим по формуле:

$$P_c(X > X_B) = \Phi^* \left( \frac{X_B - M_{c1}}{\sigma_{c1}} \right). \quad (7)$$

Вероятность того, что значения диагностических признаков неисправных узлов при диагностировании с частотой вращения  $n_1$  окажутся в зоне неопределенности, определим по формуле:

$$P_d(X_H < X < X_B) = \Phi^* \left( \frac{X_B - M_{d1}}{\sigma_{d1}} \right) - \Phi^* \left( \frac{X_H - M_{d1}}{\sigma_{d1}} \right). \quad (8)$$

Вероятность того, что значения диагностических признаков исправных узлов при диагностировании с частотой вращения  $n_1$  окажутся в зоне неопределенности, рассчитаем по формуле:

$$P_c(X_H < X < X_B) = \Phi^* \left( \frac{X_B - M_{c1}}{\sigma_{c1}} \right) - \Phi^* \left( \frac{X_H - M_{c1}}{\sigma_{c1}} \right). \quad (9)$$

Ошибку пропуска дефекта при двух испытаниях с учетом зоны неопределенности определим по формуле:

$$Q_{\text{ПД}}^{\text{ЗН}} = P_d(X < X_H) + P_d(X_H < X < X_B) \times Q_{\text{ПД}}(X_{\text{кр}2}). \quad (10)$$

Ошибку ложной тревоги при двух испытаниях с учетом зоны неопределенности вычислим по формуле:

$$Q_{\text{ЛТ}}^{\text{ЗН}} = P_c(X > X_B) + P_c(X_H < X < X_B) \times Q_{\text{ЛТ}}(X_{\text{кр}2}). \quad (11)$$

Как следует из формул (10), (11), изменяя значения границ зоны неопределенности (верхнего и нижнего критических значений диагностических признаков), можно изменять величину ошибки пропуска дефекта и ложной тревоги.

Нижнее и верхнее критические значения диагностического признака будем изменять в следующих пределах:

$$\begin{cases} X_H < X_{\text{кр}} < X_B; \\ M_c < X_H < M_c + k_c \cdot \sigma_c; \\ M_d - k_d \cdot \sigma_d < X_B < M_d, \end{cases} \quad (12)$$

где  $k_c$  и  $k_d$  – число стандартных отклонений распределения диагностического признака для исправных и неисправных объектов.

График изменения ошибки пропуска дефекта от изменения границ зоны неопределенности (верхнего и нижнего критических значений виброускорения буксы) приведен на рисунке 2.

Как видно из рисунка 2, увеличение зоны неопределенности (уменьшение нижнего критического значения и увеличение верхнего критического значения) при проведении испытаний на базовой частоте вращения снижает ошибку пропуска дефекта примерно в пять раз (с 2,8 до 0,5 %), что обеспечивает существенное сокращение количества неисправных

узлов, выпущенных в эксплуатацию, практически исключая тем самым внеплановые ремонты и перебои в поездной работе.

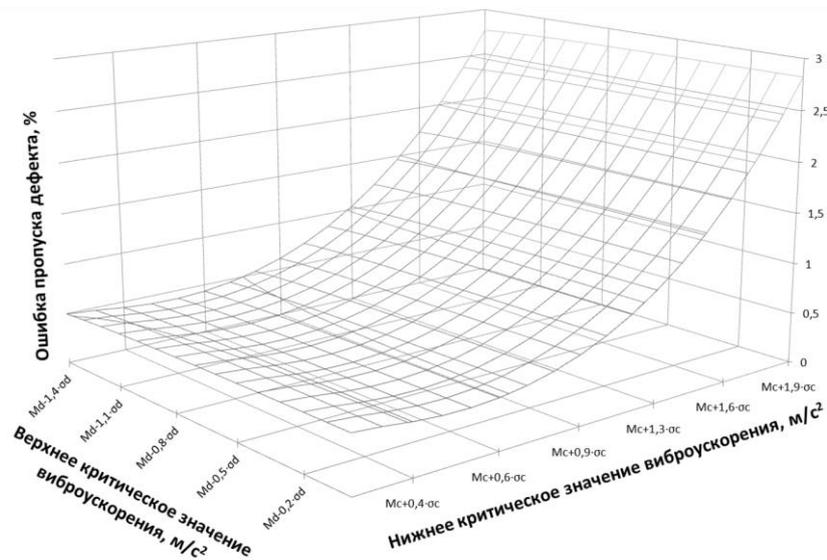


Рисунок 2 – График изменения ошибки пропуска дефекта от изменения верхней и нижней границы зоны неопределенности

График изменения ошибки ложной тревоги от изменения границ зоны неопределенности (верхнего и нижнего критических значений виброускорения буксы) приведен на рисунке 3.

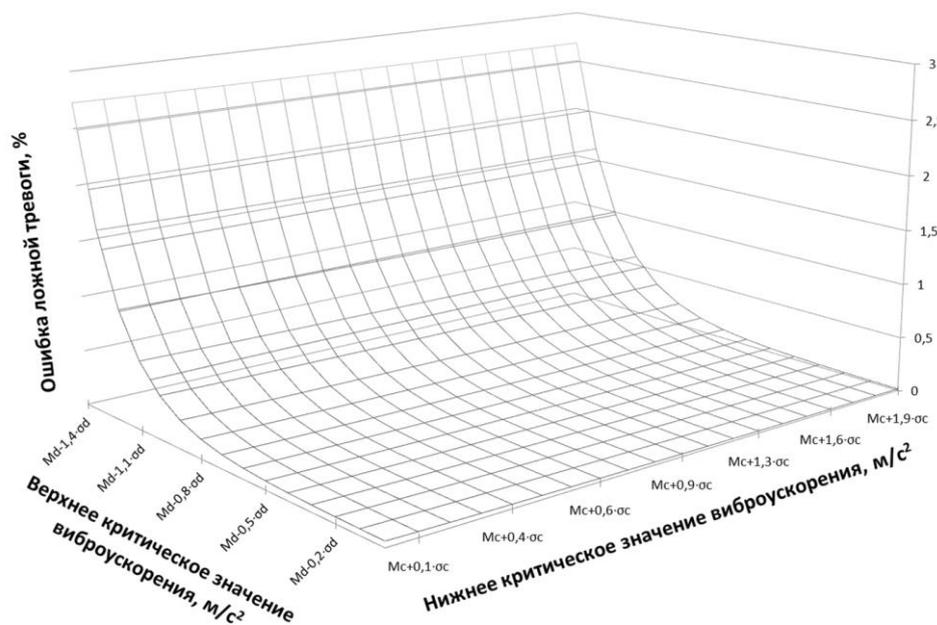


Рисунок 3 – График изменения ошибки ложной тревоги от изменения верхней и нижней границы зоны неопределенности

Как видно из рисунка 3, увеличение зоны неопределенности при проведении испытаний на базовой частоте вращения значительно снижает ошибку ложной тревоги с 2,7 до 0,02 %, что обеспечивает существенное сокращение количества неоправданных технических обслуживаний и ремонтов диагностируемых узлов, снижая затраты на эксплуатацию и предотвращая возможное ухудшение технического состояния диагностируемого узла.

График изменения вероятности безошибочного диагностирования от изменения границ зоны неопределенности, с учетом диагностирования при двух скоростных режимах – базовой и повышенной частоте вращения колесной пары – приведен на рисунке 4.

Как видно из рисунка 4, увеличение зоны неопределенности повышает вероятность безошибочного диагностирования (достоверность) с 94,5 до 99,6 %, т. е. применение предложенного способа гарантирует повышение безопасности и бесперебойности перевозочного процесса.

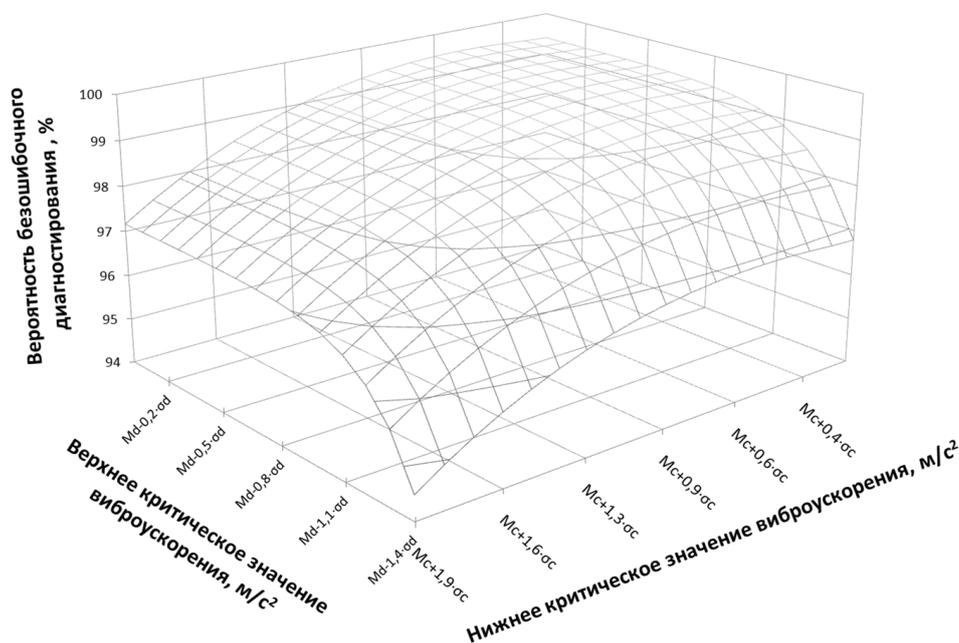


Рисунок 4 – График изменения вероятности безошибочного диагностирования от изменения верхней и нижней границ зоны неопределенности

На основании изложенного можно сделать выводы:

предложенный способ диагностирования обеспечивает объективную оценку технического состояния подшипниковых узлов КМБ электропоездов за счет повышения достоверности диагностирования;

применение предлагаемого способа позволяет значительно сократить объем работ по обслуживанию и ремонту;

предложенный способ пригоден для диагностирования любых подшипниковых узлов.

### Список литературы

1. Костюков, В. Н. Исследование вибрации подшипниковых узлов подвижного состава при изменении частоты вращения [Текст] / В. Н. Костюков, А. В. Зайцев, В. В. Басакин // Материалы всерос. науч.-техн. конф. «Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов» / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2012. – С. 92 – 97.
2. Зайцев, А. В. Исследование зависимости величины вибропараметров подшипника от частоты вращения [Текст] / А. В. Зайцев, В. В. Басакин, А. О. Тетерин // Материалы региональной науч.-практ. конф. «Наука, образование, бизнес» / Омский гос. техн. ун-т. – Омск, 2013. – С. 110 – 112.
3. Веденяпин, Г. В. Общая методика экспериментальных исследований и обработки опытных данных [Текст] / Г. В. Веденяпин. – М.: Колос, 1973. – 199 с.
4. Надежность информационных систем: Учебное пособие [Текст] / Ставропольский аграрный ун-т. – Ставрополь, 2013. – 150 с.
5. Биргер, И. А. Техническая диагностика [Текст] / И. А. Биргер. – М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.
6. Фундаментальные проблемы теории точности [Текст] / Под ред. В. П. Булатова, И. Г. Фридлендера. – СПб: Наука, 2001. – 504 с.

7. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 2005. – С. 26 – 34.

8. Пат. 2547947 Российская Федерация, МКП G 01 M 15/00, G 01 M 17/10. Способ диагностики технического состояния роторных агрегатов [Текст] / Костюков В. Н., Костюков А. В., Казарин Д. В., Зайцев А. В.; заявитель и патентообладатель ООО НПЦ «Динамика». – № 2014100085/11; заявл. 03.03.2014; опубл. 10.04.2015, Бюл. № 10.

9. Зайцев, А. В. Повышение достоверности вибродиагностирования роторных агрегатов [Текст] / А. В. Зайцев, А. В. Костюков, Д. В. Казарин // Тезисы докладов XX всерос. науч.-техн. конф. по неразрушающему контролю и технической диагностике. – М.: Спектр, 2014. – С. 355 – 357.

## References

1. Kostyukov V. N. Study of vibration rolling bearing assemblies when changing speed [Issledovanie vibratsii podshipnikovykh uzlov podvizhnogo sostava pri izmenenii chastoty vrascheniya]. Materialy vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Ekspluatatsionnaya nadezhnost' lokomotivnogo parka i povyshenie effektivnosti tiagi poezdov» (Proceedings of the scientific-technical conference «The operational reliability of the locomotive fleet and improving the efficiency of traction trains»). – Omsk, 2012, pp. 92 – 97.

2. Zaitsev A. V. Study of the dependence of vibration parameters bearing on the rotation speed [Issledovanie zavisimosti velichiny vibroparametrov podshipnika ot chastoty vrascheniya]. Materialy regional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Nauka, obrazovanie, biznes» (Materials of regional scientific-practical conference «Science, education and business»). – Omsk, 2013, pp. 110 – 112.

3. Vedenyapin G. V. *Obschaya metodika eksperimentalnykh issledovaniy i obrabotki opyitnykh dannykh* (General Procedure for pilot studies and experimental data processing). Moscow: Kolos, 1973, 199 p.

4. *Nadezhnost informatsionnykh sistem: uchebnoe posobie po distsipline dlya studentov vseh form obucheniya* (Reliability of information systems: a manual on discipline for students of all study modes). Stavropol, 2013, 150 p.

5. Birger I. A. *Tekhnicheskaya diagnostika* (Technical diagnostics). Moscow, 1978, 240 p.

6. *Fundamentalnyye problemy teorii tochnosti* (The fundamental problems of the theory of precision). Saint-Petersburg, 2001, 504 p.

7. *Tekhnicheskaya diagnostika. Terminy i opredeleniya GOST 20911-89* (Technical diagnostics. Terms and Definitions, State Standard 20911-89). Moscow, 2005, pp. 26 – 34

8. Kostyukov V. N., Kostyukov A. V., Kazarin D. V., Zaitsev A. V. *Patent RU 2547947 G 01 M 15/00*, 10.04.2015.

9. Zaitsev A. V. Increasing the reliability of rotor units [Povyshenie dostovernosti vibrodagnostirovaniya rotornykh agregatov]. *Tezisy dokladov XX Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii po nerazrushaiushchemu kontroliu i tekhnicheskoi diagnostike* (Abstracts of the V All-Russian Scientific and Technical Conference on Non-Destructive Testing and Technical Diagnostics). – Moscow, 2014, pp. 355 – 357.

УДК 620.192.64: 543.423.1

А. А. Кузнецов, А. А. Рауба, В. В. Дюндин

## АНАЛИТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ АЭС СПЕКТРОМЕТРИИ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ КОНТРОЛЕ ДЕФЕКТОВ РЕЛЬСОВОГО ПУТИ

Работа посвящена исследованию связи изменения параметров спектрального излучения рельсовой стали, полученных методом атомно-эмиссионной спектроскопии (АЭС) в среде аргона на эмиссионном спектрометре

«Аргон-5СФ», с ее физико-механическими свойствами. Выполнен количественный анализ и построена многомерная градуировка с описанием спектральных линий, коррелирующих с изменением твердости стали. Полученные результаты могут быть использованы для расширения возможностей приборов атомно-эмиссионного спектрального анализа.

Для обеспечения безопасности движения на железнодорожном транспорте необходимо проводить систематическое диагностирование объектов подвижного состава и рельсового пути на наличие дефектов. Большое количество дефектов кристаллического строения в поверхностных слоях трущихся тел, а также повышение температуры контакта обуславливают интенсивное развитие диффузионных процессов, приводящих к изменению структуры, химического и фазового состава материалов [1].

Для решения задачи бесконтактной высокоскоростной диагностики технического состояния рельсового пути ранее были предложены методы лазерно-искровой эмиссионной спектроскопии (ЛИЭС) экспрессного контроля состава и свойств конструкционных материалов и сварных соединений. При ЛИЭС-анализе для характеристики лазерной плазмы были рассчитаны температура и электронная плотность плазмы в различные моменты времени наблюдения для образцов рельсовой стали с различной твердостью. В результате проведенных исследований впервые была сопоставлена электронная плотность плазмы и твердость рельсовой стали для возможности экспрессного внелабораторного зондирования ее механических свойств [2].

Исследования по оценке структурных параметров стали методом атомно-эмиссионной спектроскопии (АЭС) уже проводились ранее [3]. Авторы экспериментально исследовали влияние структуры стали 25Л и параметров источника спектра на результаты спектрального анализа. В результате работы была установлена зависимость между средним размером зерна литейной стали и измеряемыми параметрами атомно-эмиссионного спектра.

Целью данной работы является установление взаимосвязи между изменениями параметров спектрального излучения и физико-механическими свойствами рельсовой стали. Для экспериментальных исследований были подготовлены образцы из темплета рельса, бывшего в эксплуатации (рисунок 1).

С целью достижения существенного различия по твердости несколько образцов подвергались дополнительно термообработке. Результаты измерения твердости образцов рельсовой стали приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Твердость образцов темплета железнодорожного рельса

|                      |     |     |     |     |     |     |
|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Номер образца        | 13  | 1   | 5   | 03  | 8   | 11  |
| Твердость, <i>HV</i> | 309 | 336 | 337 | 343 | 357 | 686 |

Атомно-эмиссионный спектральный анализ позволяет получить информацию о качественном и количественном составе исследуемого образца. Искровые спектрометры работают на физических принципах атомной эмиссии, основанных на возбуждении атомов и их ионизации в аргоновой плазме индукционных разрядов и в лазерной искре. Электроны свободных атомов возбуждаются до определенного энергетического состояния, в результате этого возникает электромагнитное излучение, которое регистрируется и в дальнейшем используется для анализа материалов. Результаты определения концентрации химических элементов в рельсовой стали приведены в таблице 2.

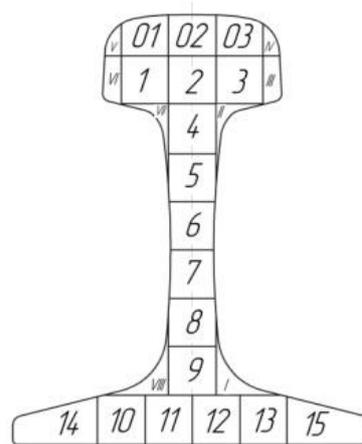


Рисунок 1 – Нумерация образцов, вырезанных из темплета рельса Р65

При проведении спектрального анализа рельсовой стали погрешности измерений количественного состава основных и легирующих элементов не превысили требований нормативных документов [4].

Таблица 2 – Определение концентрации химических элементов рельсовой стали

| Хим. эл-т | Концентрация хим. элементов в образцах темплета рельса, % |      |      |      |      |      |              |      |      |      |      |      |
|-----------|---|------|------|------|------|------|--------------|------|------|------|------|------|
|           | нормальный режим  |      |      |      |      |      | слабый режим |      |      |      |      |      |
|           | 03  | 1    | 5    | 8    | 11   | 13   | 03с          | 1с   | 5с   | 8с   | 11с  | 13с  |
| C         | 0,91  | 0,91 | 0,83 | 0,84 | 0,91 | 0,92 | 0,87         | 0,86 | 0,85 | 0,84 | 0,91 | 0,92 |
| Mn        | 0,91  | 0,91 | 0,89 | 0,90 | 0,89 | 0,89 | 0,89         | 0,90 | 0,88 | 0,88 | 0,90 | 0,89 |
| Si        | 0,30  | 0,31 | 0,30 | 0,30 | 0,31 | 0,30 | 0,30         | 0,31 | 0,31 | 0,30 | 0,32 | 0,31 |
| Al        | 0,01  | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01         | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,03 | 0,02 |
| Cr        | 0,04  | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04         | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| Cu        | 0,09  | 0,10 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09         | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,10 | 0,09 |
| Ni        | 0,03  | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03         | 0,04 | 0,04 | 0,03 | 0,05 | 0,04 |

Для выявления зависимости между физико-механическими свойствами образцов рельсовой стали и параметрами спектрального излучения регистрация спектров осуществлялась в нормальном режиме (обжиг – 10 с, экспозиция – 10 с) и в слабом (обжиг – 2 с, экспозиция – 10 с) при помощи спектрометра типа «Аргон-5СФ». По предположению авторов, в слабом режиме на результаты измерений должны оказать влияние изменения в структуре образцов.

Влияние структуры в большой степени зависит от времени предварительного обескряживания. Эта закономерность отчетливо наблюдается при анализе простых и сложнoleгированных марок стали, чугунов, а также других цветных сплавов. Характерно, что при определении разных элементов в сплавах одного типа длительность предварительного обескряживания сказывается по-разному. Влияние структуры выражается как в смещении, так и в изменении угла наклона градуировочных кривых для образцов с различными видами термической обработки или технологии изготовления [5].

При исследовании спектров образцов рельсовой стали с различной структурой был отмечен ряд спектральных линий, имеющих изменения интенсивностей относительно интенсивностей линий сравнения. Интенсивность спектральных линий, чувствительных к изменению структуры, представлены в таблице 3.

Интенсивности излучения спектральных линий  $I_{qp}$  описываются зависимостью вида:

$$I_{qp} = A_{qp} \cdot h \cdot \nu_{qp} \cdot n_a(g_q / Z_a) \cdot \exp(-E_q / kT), \quad (1)$$

где  $A_{qp}$  – эйнштейновский коэффициент спонтанного излучения перехода  $q \rightarrow p$ ;  $h$  – постоянная Планка;  $\nu_{qp}$  – частота излучения;  $n_a$  – число атомов в возбужденном состоянии;  $g_q$  – статистический вес состояния  $q$ ;  $E_q$  – энергия возбуждения атома;  $kT$  – показатель температуры плазмы.

В таблице 3 приведены спектральные линии, имеющие различные потенциалы возбуждения, а следовательно, по-разному реагирующие на изменение структуры при одинаковом химическом составе образцов. Такие линии имеют различную работу выхода из твердой фазы в плазму, что сказывается на изменениях их интенсивностей.

Для устранения возможных флуктуаций измеряемых параметров следует ввести в рассмотрение спектральные линии, интенсивность которых не изменяется в условиях различных физико-механических свойств. Такие линии должны быть гомологичными и должны иметь близкие по значению энергетические параметры. В качестве таких линий более всего подходят линии основы (железа), которые можно выбрать из перечня реперных линий методики выполнения измерений.

Таблица 3 – Параметры линий, чувствительных к изменению структуры

| Длина волны, нм | Элемент   | Измерение | Интенсивность $I$ , а.е. |         |         |
|-----------------|-----------|-----------|--------------------------|---------|---------|
|                 |           |           | №11                      | №13     | №8      |
| 293,31          | <i>Mn</i> | 1         | 2623306                  | 2808435 | 2848070 |
|                 |           | 2         | 2721937                  | 2875592 | 2924649 |
|                 |           | Среднее   | 2672622                  | 2842014 | 2886362 |
| 322,78          | <i>Fe</i> | 1         | 4525707                  | 4957029 | 4906761 |
|                 |           | 2         | 4764676                  | 4850534 | 4846902 |
|                 |           | Среднее   | 4645192                  | 4903782 | 4876832 |
| 382,07          | <i>Fe</i> | 1         | 5387895                  | 5787765 | 5731152 |
|                 |           | 2         | 5516381                  | 5464289 | 5340470 |
|                 |           | Среднее   | 5452138                  | 5626027 | 5535811 |

На рисунках 2 и 3 представлены графики интенсивности спектральных линий железа образцов № 11 и 13. Данные образцы существенно отличаются друг от друга по твердости, что сказывается на изменениях интенсивности указанных спектральных линий.

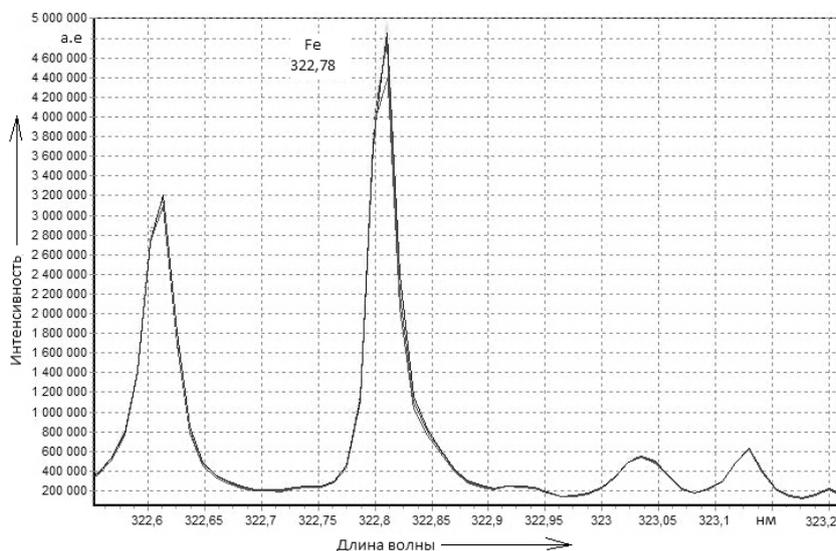


Рисунок 2 – Интенсивность чувствительной спектральной линии *Fe* 322,78 нм

Для нахождения зависимости между измеряемыми параметрами спектральных линий и твердостью образцов рельсовой стали предложена функция, включающая в себя параметры, реагирующие на изменение структуры. Вид функции обоснован в работе [6], а ее параметры, учитывающие особенности структуры материала, подобранные в результате эксперимента, представлены в выражении:

$$F = \frac{a_1 \cdot I_{Mn} + a_2 \cdot I_{Fe} + a_3 \cdot I_{Fe}}{b_1 \cdot I_1 + b_2 \cdot I_2 + b_3 \cdot I_3}, \quad (2)$$

где  $I_{Mn}$  – интенсивность спектральной линии *Mn* с длиной волны 293,31 нм;  $I_{Fe}$  – интенсивность спектральной линии *Fe* с длиной волны 322,78 нм;  $I_{Fe}$  – интенсивность спектральной линии *Fe* с длиной волны 382,07 нм;  $I_1, I_2, I_3$  – интенсивности стабильных линий сравнения *Fe* 227,99 нм, *Fe* 392,29 нм, *Fe* 292,66 нм;  $a_1, a_2, a_3$  – весовые коэффициенты чувствительных линий;  $b_1, b_2, b_3$  – весовые коэффициенты стабильных линий.

Весовые коэффициенты  $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3$  определяются нелинейным методом обобщенного понижающего градиента при условии максимума коэффициента детерминации ( $R^2 \rightarrow 1$ ).

Значения функции и соответствующие им значения твердости образцов представлены в таблице 4, а значения весовых коэффициентов – в таблице 5.

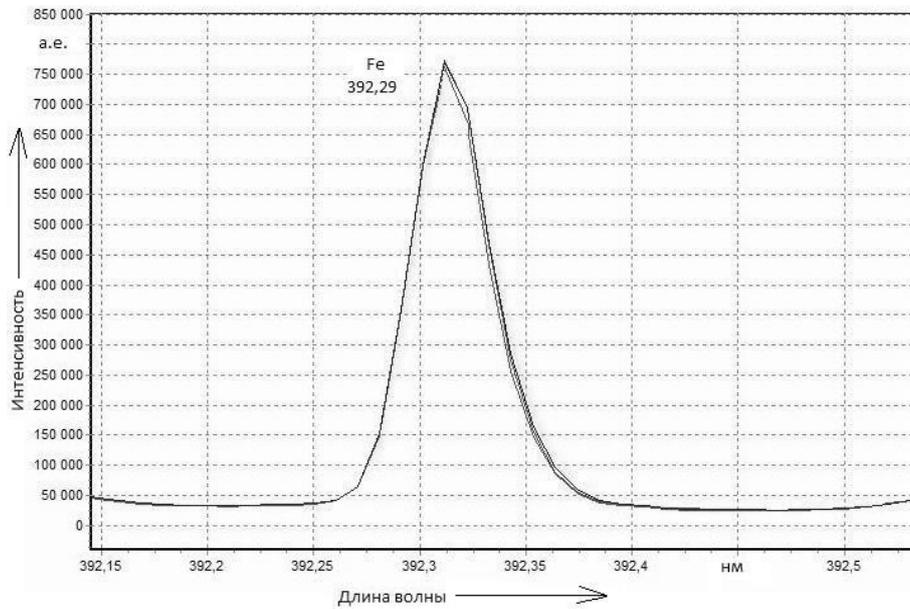


Рисунок 3 – Интенсивность стабильной спектральной линии Fe 392,29 нм

Таблица 4 – Значения функции  $F$

| Образцы        | №11    | №8     | №13    |
|----------------|--------|--------|--------|
| Функция $F$    | -5,580 | -5,777 | -5,806 |
| Твердость $HV$ | 686    | 357    | 309    |

Таблица 5 – Значения весовых коэффициентов

| $a_1$  | $a_2$   | $a_3$   | $b_1$  | $b_2$   | $b_3$  | $R^2$ |
|--------|---------|---------|--------|---------|--------|-------|
| 0,4721 | -0,6235 | -1,0000 | 0,2799 | -0,4239 | 0,3096 | 1,00  |

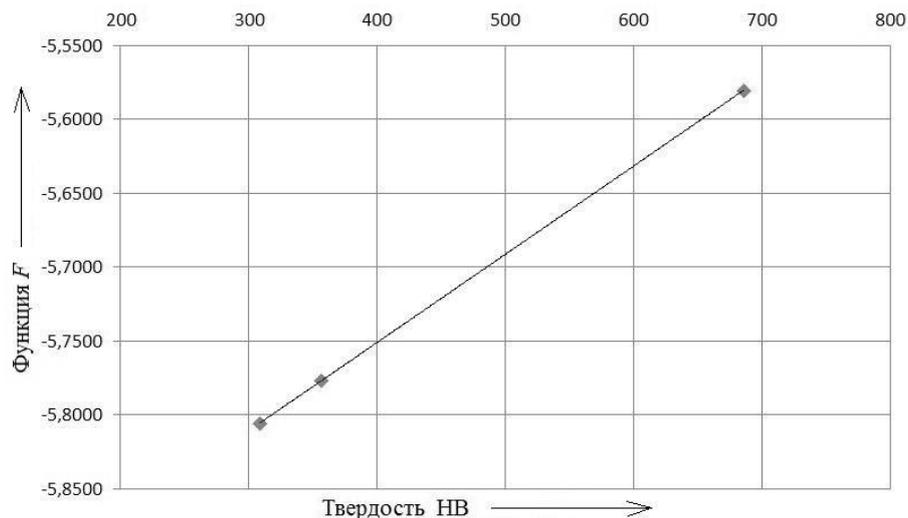


Рисунок 4 – График зависимости функции  $F$  от твердости образцов рельсовой стали

На рисунке 4 представлен график зависимости между твердостью рельсовой стали и функцией, зависящей от параметров спектрального излучения.

Проведенные исследования подтверждают наличие зависимости между физико-механическими свойствами рельсовой стали и параметрами спектрального излучения. Полу-

ченные данные могут быть использованы для расширения возможностей приборов атомно-эмиссионного спектрального анализа, что позволит проводить не только многопараметровый анализ рельсовых сталей по химическому составу, но и давать оценку твердости материалов при контроле рельсового пути на железнодорожном транспорте.

## Список литературы

1. Бернштейн, М. Л. *Металловедение и термическая обработка стали: справ. изд. в 3 т. Методы испытаний и исследования* [Текст] / М. Л. Бернштейн, А. Г. Рахштадт. – М.: Металлургия, 1983. – Т. 1. – 352 с.
2. Использование лазерно-искровой эмиссионной спектроскопии для оценки прочностных свойств сварных стыков рельсового пути [Текст] / А. М. Попов, С. М. Зайцев и др. // Труды третьей науч.-техн. конф. с междунар. участием «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование ИСУЖТ-2014» / ОАО НИИАС. – М., 2014. – С. 119 – 122.
3. Глазырин, А. В. Оценка структурных параметров стали методом атомно-эмиссионной спектроскопии [Текст] / А. В. Глазырин, А. А. Кузнецов // Омский научный вестник / Омский гос. техн. ун-т. – Омск. – 2012. – № 3 (113). – С. 253 – 258.
4. ГОСТ Р 51685-2000. Рельсы железнодорожные. Общие технические условия. М.: Изд-во стандартов, 2001. – 26 с.
5. Буравлев, Ю. М. Основы атомно-эмиссионного спектрального анализа [Текст] / Ю. М. Буравлев / Донецкий нац. ун-т. – Донецк, 2001. – 254 с.
6. Кузнецов, А. А. Способ достижения инвариантности градуировочных графиков при определении количественного состава металлов и сплавов автоматизированными системами АЭСА [Текст] / А. А. Кузнецов, О. Б. Мешкова, Д. Е. Зачатейский // Омский научный вестник / Омский гос. техн. ун-т. – Омск. – 2010. – № 2 (30). – С. 169 – 172.

## References

1. Bernstein M. L., Rahshtadt A. G. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka stali. Metod yispytaniy i issledovaniya* [Metallurgy and heat treatment of steel. Methods of testing and research]. Moscow: Metallurgy, 1983. V. 1. 352p.
2. Popov A. M., Zaytsev S. M., Labutin T. A., Zorov N. B., Dyundin V. V., Kuznetsov A. A. Using laser-induced breakdown spectroscopy to assess the strength properties of welded joints of track [Ispol'zovanie lazerno-iskrovoj ehmissionnoj spektrometrii dlya ocenki prochnostnykh svojstv svarnykh stykov rel'sovogo puti]. *Trudy tret'ejnauch.-tekhn.konf. smezhdunar. uchastiem «Intel'ktual'nye sistemy upravleniya na zheleznodorozhnom transporte. Komp'yuternoe i matematicheskoe modelirovanie ISUZHT-2014»* (Proceedings of the Third scientific and engineering conference with international participation «Intelligent control systems for rail transport. Computer and mathematical modeling ISUZHT 2014»). – Moscow, 2014, pp. 119 – 122.
3. Glazyrin A. V. Estimation of structural parameters of steel by atomic emission spectroscopy [Ocenka strukturnykh parametrov stali metodom atomno-ehmissionnoj spektroskopii]. *Omskij nauchnyj vestnik – Omsk Scientific Bulletin*, 2012, pp. 253 – 258.
4. GOST R 51685-2000. Railway rails. General specifications [Rel'sy zheleznodorozhnye. Obshchie tekhnicheskie usloviya]. Moscow. 2001, 26 p.
5. Buravlev Y. M. *Osnovy atomno-ehmissionnogo spektral'nogo analiza* [Fundamentals of atomic-emission spectral analysis]. Donetsk: DonNU. 2001, 254 p.
6. Kuznetsov A. A. Method of achieving the invariance of calibration curves in the determination of the quantitative composition of metals and alloys automated systems AESA [Sposob dostizheniya invariantnosti graduировочnykh grafikov pri opredelenii kolichestvennogo sostava metallov i spлавov avtomatizirovannymi sistemami AEHSA]. *Omskij nauchny jvestnik – Omsk Scientific Bulletin*, 2010, pp. 169 – 172.

## НЕКОТОРЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ «ЖЕСТКОЙ» ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ, ОПИСЫВАЮЩЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОЛЕСА И РЕЛЬСА

*В статье изложена методика исследования «жесткой» математической модели, описывающей взаимодействие колеса локомотива и рельса с учетом гипотезы Ф. Картера. На основе применения теоремы Н. А. Тихонова выведено дифференциальное уравнение для определения скорости проскальзывания колесной пары по рельсам. Получена зависимость определения времени установления процесса кинематического проскальзывания колесной пары по рельсам от скоростей центра колеса и локомотива, от инерционных характеристик поезда и колесной пары, а также от коэффициента крива, момента вращения, приложенного к колесной паре, и от состояния поверхностей рельсов.*

Провозная и пропускная способность железных дорог в решающей мере зависит от тяговых качеств магистральных локомотивов, которые не в полной мере отвечают современным требованиям, особенно на полигонах железных дорог Урала, Сибири и Дальнего Востока с их климатическими условиями.

Сложная молекулярно-механическая природа контакта колеса с рельсом и возникновения сил сцепления определяют большое число случайных факторов, влияющих на реализуемую силу тяги. Кроме того, нагрузка от колес на рельсы также меняется в широких пределах в связи с тем, что взаимодействующие друг с другом локомотив и путь представляют собой единую сложную динамическую колебательную систему, параметры элементов которой (в первую очередь возмущения со стороны пути) изменяются случайным образом. При этом времена процессов, описывающих подергивание железнодорожных экипажей (вагонов в составе поезда и локомотива) и процессов контактирования колеса с рельсом, отличаются друг от друга на несколько порядков.

Несмотря на получение ряда результатов [1, 2] задача нахождения достоверной оценки влияния факторов и процессов, протекающих при взаимодействии подвижного состава и железнодорожного пути, до настоящего времени не решена в полном объеме, так как нет всеобъемлющей теории, объясняющей с достаточной полнотой все явления, протекающие в контакте колеса с рельсом, а существуют лишь несколько различных и самостоятельных гипотез.

В настоящее время при оценивании тяговых свойств локомотивов и исследовании динамических свойств подвижного состава для описания касательной составляющей в контакте колеса с рельсом применяются гипотезы Ф. Картера [3], Дж. Калкера [4] и других исследователей.

Гипотеза Ф. Картера, являющаяся феноменологическим подходом, заключающимся в том, что сам вид формулы, описывающей касательную силу в контакте колеса и рельса, был основан на предположении, подразумевающим, что сила сцепления пропорциональна относительному смещению (относительному упругому псевдоскольжению) материалов бандажа и рельса, т. е. на основании умозрительных соображений. Эта гипотеза имеет наибольшее распространение до настоящего времени [5 – 7]. Дж. Калкер предложил модель контакта, в которой при определенных условиях, – при малых величинах упругого псевдоскольжения (крива) – могут существовать зоны сцепления и упругого смещения. Однако полной ясности соответствия созданных моделей контактного взаимодействия колеса и рельса, реальности происходящих при этом процессов до сих пор нет, поскольку линейная теория, справедливая для малых величин упругих псевдосмещений, распространяется на кинематические перемещения колеса, измеряемые многими (и даже десятками) миллиметрами.

Отметим характерную особенность механических систем, описывающих взаимодействие железнодорожных экипажей и пути. В их дифференциальных уравнениях всегда можно об-

наружить слагаемое, представляющее собой произведение «бесконечно большой величины» на «бесконечно малую величину», которое в итоге все равно конечно. Такие системы дифференциальных уравнений в математике называются «жесткими» и требуют специфических приемов их интегрирования. Особенно хорошо в таких случаях работает известная теорема академика А. Н. Тихонова [8] о разделении движений системы на «медленные» и «быстрые» составляющие.

Выполним попытку формирования адекватной математической модели, описывающей динамику взаимодействия колеса с рельсом с учетом упругости в пятне контакта колеса с рельсом по гипотезе, предложенной Ф. Картером.

Указанные выше соображения позволяют нам использовать достаточно простую расчетную схему задачи, а именно – условный одноосный локомотив. На такой модели могут изучаться случаи, когда сила тяги является силой, зависящей от проскальзывания колесной пары по рельсам, и когда она реализуется обычной силой трения скольжения.

На рисунке 1 представлена расчетная схема для решения нашей задачи, в которой обозначено:  $m$ ,  $M$  – масса колесной пары и тележки с кузовом, приходящейся на одну колесную пару;  $J_0$  – момент инерции колесной пары относительно собственной оси вращения;  $M_{вр}$  – вращающий момент, передающийся от электрического тягового двигателя (ТЭД) на колесную пару;  $N$  – нормальная реакции рельсов на колесную пару;  $F_x = -K_x U/V_0$  – сила крипа, определенная по гипотезе Ф. Картера, которая всегда направлена в сторону, противоположную скорости проскальзывания колесной пары по рельсам;  $K_x$  – коэффициент крипа;  $u$  – скорость проскальзывания колесной пары по рельсам;  $\Omega$  – угловая скорость вращения колесной пары вокруг собственной оси;  $V_0$  – скорость движения центра масс колесной пары;  $W(V_1)$  – сопротивление движению поезда, приходящееся на одну колесную пару и приложенное к кузову и тележкам,  $V_1$  – скорость движения кузова локомотива вместе с тележкой.

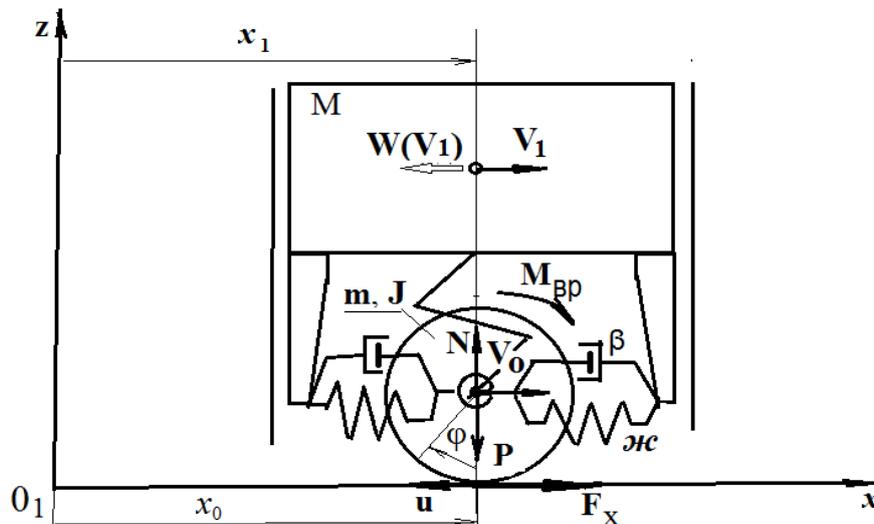


Рисунок 1. Расчетная схема взаимодействия колесной пары экипажа и железнодорожного пути

Из сказанного выше очевидно, что тяговый электрический двигатель в данном случае моделируется вращающим моментом, приложенным к оси колесной пары. В более точной математической модели можно и нужно учитывать тип привода, имеющий различное конструктивное исполнение, схему соединения ТЭД и характеристики ТЭД. Таким образом, в точной математической модели появится еще одна «быстрая» переменная – ток ТЭД, а сама система дифференциальных уравнений становится нелинейной. Кроме того, так как не рассматриваются вертикальные колебания экипажа, то мы объединили массы кузова и тележек локомотива.

Чтобы составить математическую модель поведения такой идеализированной механической системы, воспользуемся уравнениями Лагранжа второго рода:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial V_1} \right) - \frac{\partial T}{\partial X_1} = Q_{x_1}; \\ \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial V_0} \right) - \frac{\partial T}{\partial X_0} = Q_{x_0}; \\ \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \Omega} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi} = Q_\varphi. \end{cases} \quad (1)$$

Вычислим кинетическую энергию механической системы и обобщенные силы, действующие по обобщенным координатам  $X_1$ ,  $X_0$  и  $\varphi$ :

$$\begin{cases} T = \frac{1}{2} M V_1^2 + \frac{1}{2} m V_0^2 + \frac{1}{2} J_0 \Omega^2; \\ Q_{x_1} = F_\delta - W(V_1); \\ Q_{x_0} = K_x \frac{U}{V_0} - F_\delta; \\ Q_\varphi = M_{вр} - K_x r_0 \frac{U}{V_0}. \end{cases} \quad (2)$$

Найдем необходимые нам производные:

$$\begin{cases} \frac{\partial T}{\partial V_1} = M V_1; & \frac{d}{dt} (M V_1) = M \frac{dV_1}{dt}; & \frac{\partial T}{\partial X_1} \equiv 0; \\ \frac{\partial T}{\partial V_0} = m V_0; & \frac{d}{dt} (m V_0) = m \frac{dV_0}{dt}; & \frac{\partial T}{\partial X_0} \equiv 0; \\ \frac{\partial T}{\partial \Omega} = J_0 \Omega; & \frac{d}{dt} (J_0 \Omega) = J_0 \frac{d\Omega}{dt}; & \frac{\partial T}{\partial \varphi} \equiv 0. \end{cases} \quad (3)$$

Составим согласно алгоритму (1) дифференциальные уравнения движения нашей механической системы, моделирующей условный одноосный экипаж:

$$\begin{cases} M \frac{dV_1}{dt} = F_\delta - W(V_1); \\ m \frac{dV_0}{dt} = K_x \frac{U}{V_0} - F_\delta; \\ J_0 \frac{d\Omega}{dt} = M_{вр} - K_x \frac{U}{V_0} r_0. \end{cases} \quad (4)$$

Здесь  $r_0$  – радиус колесной пары локомотива по кругу катания;  $F_\delta$  – суммарная составляющая упругих и диссипативных сил взаимодействия колеса и кузова экипажа вдоль оси пути. Полученная система дифференциальных уравнений относится, как указывалось выше, к так называемым «жестким» системам, так как во втором и третьем уравнениях системы (4) есть слагаемые  $K_x U/V$ , у которых коэффициент  $K_x$  имеет очень большое численное значение, а относительная скорость проскальзывания колеса по рельсу – очень малая величина ( $\varepsilon = U/V \ll 1$ ). Если считать скорость движения поезда  $V_1$  постоянной величиной, т. е. поезд находится в стационарном состоянии, то система (4) может быть упрощена, поскольку  $F_\delta = W(V_1) = \text{const}$ :

$$\begin{cases} m \frac{dV_0}{dt} = K_x \frac{U}{V_0} - W; \\ J_0 \frac{d\Omega}{dt} = M_{\text{вп}} - K_x r_0 \frac{U}{V_0}. \end{cases} \quad (5)$$

Чтобы определить скорость проскальзывания колесной пары по рельсам, рассмотрим кинематику ее качения:

$$\vec{V}_P = \vec{V}_0 + \vec{\Omega} \times \vec{OP}, \quad (6)$$

где имеем следующие выражения для скоростей центра колеса и точки его контакта с рельсом:

$$\begin{cases} \vec{V}_0 = V_0 \vec{i}; \quad \vec{\Omega} \times \vec{OP} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ 0 & 0 & \Omega \\ 0 & -r_0 & 0 \end{vmatrix} = -\Omega r_0 \vec{i}; \\ \vec{V}_P = (V_0 - \Omega r_0) \vec{i}; \quad U = V_0 - \Omega r_0. \end{cases} \quad (7)$$

Из этих зависимостей нетрудно установить, что скорость проскальзывания  $U$  будет рассчитываться так:

$$U = \begin{cases} V_0 < \Omega r_0 - \text{для тягового режима;} \\ V_0 > \Omega r_0 - \text{для тормозного режима;} \\ 0 - \text{для режима качения без проскальзывания.} \end{cases} \quad (8)$$

Системы дифференциальных уравнений (5) относятся к уравнениям «жесткого» типа, но в них, естественно, явно не выделена «быстрая» переменная, каковой является скорость проскальзывания колесной пары по рельсам. Использование же теоремы академика А. Н. Тихонова о разделении движения динамической системы на «быстрые» и «медленные» составляющие [8] предполагает наличие в математической модели полного спектра частот, имеющегося в ней, поэтому выведем дифференциальное уравнение для скорости проскальзывания колесной пары по рельсам:

$$\begin{cases} \frac{dU}{dt} = r_0 \frac{d\Omega}{dt} - \frac{dV_0}{dt}; \\ \frac{dV_0}{dt} = \frac{1}{m} \left( K_x \frac{\Omega r_0 - V_0}{V_0} - W \right); \\ \frac{d\Omega}{dt} = \frac{1}{J_0} \left( M_{\text{вп}} - K_x \frac{\Omega r_0 - V_0}{V_0} \right); \\ \frac{dU}{dt} = \frac{r_0}{J_0} \left( M_{\text{вп}} - K_x \frac{\Omega r_0 - V_0}{V_0} r_0 \right) - \frac{1}{m} \left( K_x \frac{\Omega r_0 - V_0}{V_0} - W \right). \end{cases} \quad (9)$$

После несложных преобразований последнее уравнение системы (9) будет иметь вид:

$$\begin{cases} m \frac{dU}{dt} = \frac{mr_0^2}{J_0} \left( \frac{M_{\text{вп}}}{r_0} - K_x \frac{\Omega r_0 - V_0}{V_0} \right) - K_x \frac{\Omega r_0 - V_0}{V_0} + W; \\ m \frac{dU}{dt} + \frac{J_0 + mr_0^2}{J_0} K_x \frac{U}{V_0} = \frac{mr_0^2}{J_0} \frac{M_{\text{вп}}}{r_0} + W. \end{cases} \quad (10)$$

Теперь вместо системы дифференциальных уравнений (4) получим другую – с меньшим числом уравнений:

$$\begin{cases} m \frac{dV_0}{dt} = K_x \frac{U}{V_0} - W; \\ m \frac{dU}{dt} + \frac{J_0 + Mr_0^2}{J_0} K_x \frac{U}{V_0} = \frac{Mr_0^2}{J_0} \frac{M_{\text{вп}}}{r_0} + W, \end{cases} \quad (11)$$

содержащую как «медленную», так и «быструю» переменные.

Введем безразмерные комплексы:  $U = U_* u$ ;  $V_0 = V_* v_0$ ;  $V_1 = V_* v_1$ ;  $T = T_* \tau$ , здесь  $U_*$ ,  $V_*$ ,  $T_*$  – размерные переменные, определяющие классы движений системы, а  $u$ ,  $v_0$ ,  $v_1$ ,  $\tau$  – безразмерные переменные, тогда система (11) преобразуется к виду:

$$\begin{cases} \frac{mV_*^2}{K_x U_* T_*} \frac{dv}{d\tau} = \frac{u}{v} - \frac{WV_*}{K_x U_*}; \\ \frac{mV_*}{K_x T_*} \frac{J_0}{J_0 + mr_0^2} \frac{du}{d\tau} + \frac{u}{v} = \frac{mr_0^2}{J_0 + mr_0^2} \frac{M_{\text{вп}} V_*}{K_x r_0 U_*} + \frac{J_0}{J_0 + mr_0^2} \frac{WV_*}{K_x U_*}, \end{cases} \quad (12)$$

здесь введем следующие обозначения:

$$\begin{cases} a = \frac{WV_*}{K_x U_*}; \quad b = \frac{mr_0^2}{J_0 + mr_0^2} \frac{M_{\text{вп}} V_*}{K_x r_0 U_*}; \quad c = \frac{J_0}{J_0 + mr_0^2} a; \\ T_1 = \frac{mV_*^2}{K_x U_*}; \quad T_2 = \frac{mV_*}{K_x} \frac{J_0}{J_0 + mr_0^2}, \end{cases} \quad (13)$$

где  $T_1$  и  $T_2$  – постоянные времени системы, которые позволительно априори оценивать по чрезвычайно упрощенным расчетным схемам, ибо для нас важны лишь порядки величин;  $a$ ,  $b$  и  $c$  – безразмерные коэффициенты, величины которых должны быть близки к единице. С учетом принятых обозначений (13) система дифференциальных уравнений (12) примет вид:

$$\begin{cases} \frac{T_1}{T_*} \frac{dv}{d\tau} = \frac{u}{v} - a; \\ \frac{T_2}{T_*} \frac{du}{d\tau} = -\frac{u}{v} + b + c. \end{cases} \quad (14)$$

Таким образом, система дифференциальных уравнений (14) преобразована согласно требованиям теоремы академика А. Н. Тихонова, которая позволяет выделять как «медленные», так и «быстрые» составляющие ее решения. Выбор масштаба времени  $T_*$  позволяет вводить малый параметр  $\mu$ , который может появиться как *сингулярным образом*, т. е. множителем при производной, так и обычным образом, но в правой части (*регулярным образом*).

Если разделить первое уравнение системы (14) на второе, то после несложных преобразований получим дифференциальное уравнение

$$\frac{T_1}{T_2} \frac{dv}{du} = \frac{u - av}{-u + (b + c)v}, \quad (15)$$

связывающее безразмерную скорость движения центра масс колесной пары и безразмерную скорость ее проскальзывания по рельсам. Исследование уравнения (15) можно также провести на фазовой плоскости с помощью качественных методов, разработанных академиком А. А. Андроновым и другими учеными [9].

Чтобы выполнить интегрирование дифференциального уравнения (15), сделаем следующую замену переменных:

$$v = \frac{T_1}{T_2} uz, \quad (16)$$

после этого получим следующие выражения:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dv}{du} &= \frac{T_1}{T_2} \left( z + u \frac{dz}{du} \right); \quad \frac{T_1}{T_2} \left( z + u \frac{dz}{du} \right) = \frac{1 - a \frac{T_1}{T_2} z}{-1 + (b+c) \frac{T_1}{T_2} z}; \\ u \frac{dz}{du} &= \frac{\frac{T_2}{T_1} - az}{-\frac{T_2}{T_1} + (b+c)z} - z. \end{aligned} \right. \quad (17)$$

Вводя обозначение  $T_2/T_1 = \chi$ , после несложных преобразований перепишем второе уравнение системы соотношений (17) в виде:

$$u \frac{dz}{du} = \frac{\chi + (\chi - a)z - (b+c)z^2}{-\chi + (b+c)z}. \quad (18)$$

Разделяя переменные  $z$  и  $u$ , получим:

$$\frac{-\chi + (b+c)z}{(b+c)z^2 - (\chi - a)z - \chi} dz = -\frac{du}{u}. \quad (19)$$

Вычислим интегралы от левой и правой частей уравнения (19):

$$-\chi \int \frac{dz}{Az^2 + Bz + C} + (b+c) \int \frac{zdz}{Az^2 + Bz + C} = -\int \frac{du}{u}, \quad (20)$$

где  $A = b+c$ ,  $B = a - \chi$ ,  $C = -\chi$  – вспомогательные коэффициенты. После этого интегралы становятся табличными и равными:

$$\left\{ \begin{aligned} \int \frac{dz}{Az^2 + Bz + C} &= \frac{1}{A(z_1 - z_2)} \ln \left( \frac{z - z_1}{z - z_2} \right); \\ \int \frac{zdz}{Az^2 + Bz + C} &= \frac{1}{2A} \ln(Az^2 + Bz + C) - \frac{B}{2A} \int \frac{dz}{Az^2 + Bz + C}; \\ \frac{1}{2A} \ln(Az^2 + Bz + C) - \frac{B}{2A} \int \frac{dz}{Az^2 + Bz + C} &= \frac{1}{2A} \ln(Az^2 + Bz + C) - \frac{B}{2A} \frac{1}{A(z_1 - z_2)} \ln \left( \frac{z - z_1}{z - z_2} \right), \end{aligned} \right. \quad (21)$$

здесь  $z_1$  и  $z_2$  – корни алгебраического уравнения  $Az^2 + Bz + C = 0$ , которые легко определяются по уравнениям

$$\left\{ \begin{aligned} z_1 &= \frac{\chi - a + \sqrt{(\chi - a)^2 + 4\chi(b+c)}}{2(b+c)}; \\ z_2 &= \frac{\chi - a - \sqrt{(\chi - a)^2 + 4\chi(b+c)}}{2(b+c)}; \\ z_1 - z_2 &= \frac{\sqrt{(\chi - a)^2 + 4\chi(b+c)}}{b+c}. \end{aligned} \right. \quad (22)$$

Подстановка полученных значений в выражение (20) и дальнейшие преобразования дают возможность написать такое уравнение:

$$u = \frac{D \left( \frac{z - z_1}{z - z_2} \right)^{\frac{a+\chi}{\sqrt{(\chi-a)^2 + 4\chi(b+c)}}}}{\sqrt{(b+c)(z-z_1)(z-z_2)}}, \quad (23)$$

где  $D$  – постоянная интегрирования, которую определим позднее. С учетом соотношения (23) формула (16) примет вид:

$$v = \frac{zu}{\chi} = \frac{D}{\chi} \frac{z \left( \frac{z - z_1}{z - z_2} \right)^{\frac{a+\chi}{\sqrt{(\chi-a)^2 + 4\chi(b+c)}}}}{\sqrt{(b+c)(z-z_1)(z-z_2)}}. \quad (24)$$

Анализ уравнений (23) и (24) выполним в дальнейшем. А сейчас положим в системе уравнений (14)  $T_* = T_1$ , другими словами, изучим поведение «медленной» переменной, которой является скорость перемещения центра масс колесной пары, тогда имеем:

$$\begin{cases} \frac{dv}{d\tau} = \frac{u}{v} - a; \\ \mu \frac{du}{d\tau} = -\frac{u}{v} + b + c, \end{cases} \quad (25)$$

здесь  $\mu = \chi = T_2/T_1 \ll 1$  – малый параметр, появившийся сингулярным образом, т. е. при производной. Согласно теореме академика А. Н. Тихонова вырождаем систему (25) (полагаем, что малый параметр  $\mu = 0$ ):

$$\begin{cases} \frac{dv}{d\tau} = \frac{u}{v} - a; \\ 0 = -\frac{u}{v} + b + c. \end{cases} \quad (26)$$

Из второго уравнения соотношений (26) сразу находим, что

$$\frac{u}{v} \approx b + c. \quad (27)$$

Следовательно, учитывая введенные ранее обозначения (13), найдем:

$$\frac{dV_1}{dt} = \zeta \frac{mr_0^2}{J_0 + mr_0^2} \frac{\frac{M_{ep}}{r_0} - F_6}{K_x}, \quad (28)$$

здесь  $\zeta = \frac{V_*^2}{U_* T_*} = \frac{V_*^2}{\lambda V_* T_*} = \frac{V_*}{\lambda T_*} = \frac{a_{\max}}{\lambda}$  – коэффициент, по размерности равный ускорению;  $a_{\max}$  –

максимальное ускорению поезда, допустимое по условию прочности автосцепного устройства;  $\lambda$  – коэффициент, характеризующий скорость упругого проскальзывания как долю скорости движения поезда (обычно он находится в пределах от сотых долей процента до трех процентов). Если принять, что  $V_1 = \text{const}$ , то нетрудно установить, что  $F_6 = W(V_1)$ , поэтому

$$\frac{dV_1}{dt} = \zeta \frac{mr_0^2}{J_0 + mr_0^2} \frac{\frac{M_{\text{вп}}}{r_0} - W(V_1)}{K_x}. \quad (29)$$

Таким образом, выведено безразмерное уравнение движения поезда в расчете на одну колесную пару. Возвращаясь к размерным переменным, вместо выражения (29) получим:

$$m(1 + \gamma) \frac{dV_0}{dt} = \frac{M_{\text{вп}}}{r_0} - W(V_1), \quad (30)$$

где  $1 + \gamma = 1 + J_0/mr_0^2$  – коэффициент, учитывающий инерцию вращающихся частей поезда (колесных пар и якорей тяговых двигателей). Обратим внимание на тот факт, что нам не потребовалось искусственным образом вводить указанный коэффициент (это характерно для теории тяги поездов), так как он определился естественным путем. Конечно, следует отметить, что в формулу (30) вместо силы тяги входит момент, передаваемый от ТЭД на колесную пару локомотива.

Выражение для вращающего момента зависит от типа ТЭД, но пока оставим этот вопрос. Положим в (13) теперь, что  $T_* = T_2$ , тогда получим:

$$\begin{cases} \frac{T_1}{T_2} \frac{dv}{d\tau} = \frac{u}{v} - a; \\ \frac{du}{d\tau} = -\frac{u}{v} + b + c \end{cases} \quad (31)$$

или

$$\begin{cases} \frac{dv}{d\tau} = \mu \left( \frac{u}{v} - a \right); \\ \frac{du}{d\tau} = -\frac{u}{v} + b + c. \end{cases} \quad (32)$$

Вновь вырождая систему (32), т. е. принимая  $\mu = 0$ , имеем:

$$\begin{cases} \frac{dv}{d\tau} = 0; \\ \frac{du}{d\tau} = -\frac{u}{v} + b + c. \end{cases} \quad (33)$$

Из уравнений (33) следует, что  $v = \text{const}$ , следовательно, второе уравнение этой системы может быть легко проинтегрировано:

$$u = v(b + c) \left( 1 - e^{-\frac{\tau}{v}} \right).$$

Переходя к размерным переменным, получим:

$$\frac{U}{V_0} = \frac{1}{1 + \gamma} \frac{\frac{M_{\text{вп}}}{r_0} + \gamma W(V_0)}{K_x} \left[ 1 - e^{-\frac{K_x(1+\gamma)T}{mV_0\gamma}} \right]. \quad (34)$$

Если ввести новую постоянную времени

$$T_3 = \frac{mV_0}{K_x} \frac{\gamma}{1+\gamma}, \quad (35)$$

то соотношение (34) можно переписать так:

$$\frac{U}{V_0} = \frac{1}{1+\gamma} \frac{\frac{M_{\text{вр}}}{r_0} + \gamma W(V_1)}{K_x} \left( 1 - e^{-\frac{T}{T_3}} \right). \quad (36)$$

Итак, постоянная времени  $T_3$  определяет время установления кинематического проскальзывания колесной пары по рельсам согласно принятой гипотезе Ф. Картера. Она зависит прямым образом от скорости движения центра масс колесной пары  $V_0$ , от ее массы  $m$  и от коэффициента  $\gamma$ , и обратно пропорциональна коэффициенту крипа  $K_x$ . Чем выше скорость движения экипажа  $V_0$ , тем быстрее достигается стационарное значение  $U$ , которое определяется вращающим моментом на колесной паре  $M_{\text{вр}}$ , структурой поезда, коэффициентом крипа  $K_x$  и скоростью  $V_0$  поступательного движения центра колесной пары.

Заметим здесь, что сила взаимодействия колесной пары с рельсами должна учитывать фрикционные состояния контактирующих поверхностей колес и рельсов, которые в значительной степени зависят от геометрии этих поверхностей, от характера загрязнений, степени их насыщенности влагой и смазкой, наличия песка на рельсах, состояния окружающей среды и т. п. Эти поверхности загрязняются продуктами износа, остатками перевозимых грузов, смазочными материалами и др. Загрязнение поверхностей колеса и рельса значительно ухудшает их фрикционные характеристики, особенно при насыщении слоя загрязнений парами воды или капельной влагой, что приводит к резкому снижению силы сцепления и может быть причиной возникновения боксования.

В теории тяги поездов при рассмотрении боксования колесной пары обычно считается [5, 6, 10] (и это установившееся мнение далеко не всегда справедливо), что она совершает вращательное движение. В классической постановке задачи, используемой в теории тяги поездов, данное явление описывается теоремой об изменении кинетического момента, в формулу которой входят момент инерции колесной пары, приложенный к ней вращающий момент и сила крипа (или трения). И все! Это, конечно, возможно при определенных условиях, например, при трогании поезда с места. Если же поезд уже разогнался, то колесная пара может находиться только в плоском движении, но при этом какая-либо колесная пара локомотива вследствие ряда причин (некачественная развеска локомотива, геометрические и жесткостные неровности пути и др.) с наименьшим давлением на путь в данное мгновение может пробуксовывать, для ликвидации чего требуется поосное регулирование силы тяги или введение в зону контакта модификаторов трения.

Полученная зависимость (36) позволяет определить относительное проскальзывание, которое влияет на величину силы сцепления колеса с рельсом в режиме тяги. Известно, что сила тяги является функцией проскальзывания

$$F_K(\varepsilon) = afP \left( \frac{\varepsilon}{\varepsilon_k} \right)^b e^{-c \frac{\varepsilon}{\varepsilon_k}}, \quad (37)$$

где  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – зависящие от состояния поверхностей контактирования коэффициенты регрессионного уравнения, вид которого был установлен профессором С. М. Куценко [11, 12];  $P$  – динамическое давление колеса на рельс;  $f$  – потенциальный коэффициент трения скольжения;  $\varepsilon$  и  $\varepsilon_k$  – относительная скорость проскальзывания колеса по рельсу и ее критическое значение, превышение которого вызывает срыв колесной пары на боксование.

Зависимости силы тяги локомотива от отмеченных факторов представлены на рисунке 2 [13].

С учетом отмеченных в формуле (37) факторов выведенная в настоящей статье математическая модель взаимодействия колесной пары локомотива и железнодорожного пути позволяет учитывать состояние контактируемых поверхностей.

На самом деле, в формуле (36) больше параметров, определяющих кинематическое проскальзывание колесной пары по железнодорожному пути. Напомним, что вращающий момент на колесной паре и ее давление на путь считаем постоянными (это допущение взято из теории тяги поездов), в действительности это не так, ибо при движении по железнодорожному пути с неровностями на поверхности катания колесные пары совершают колебательные движения, а следовательно, давление колесной пары на рельс меняется и поэтому и сила тяги локомотива не является постоянной величиной. Поэтому полученные здесь результаты нужно рассматривать как качественные, проливающие свет на вопросы взаимодействия колесной пары и пути.

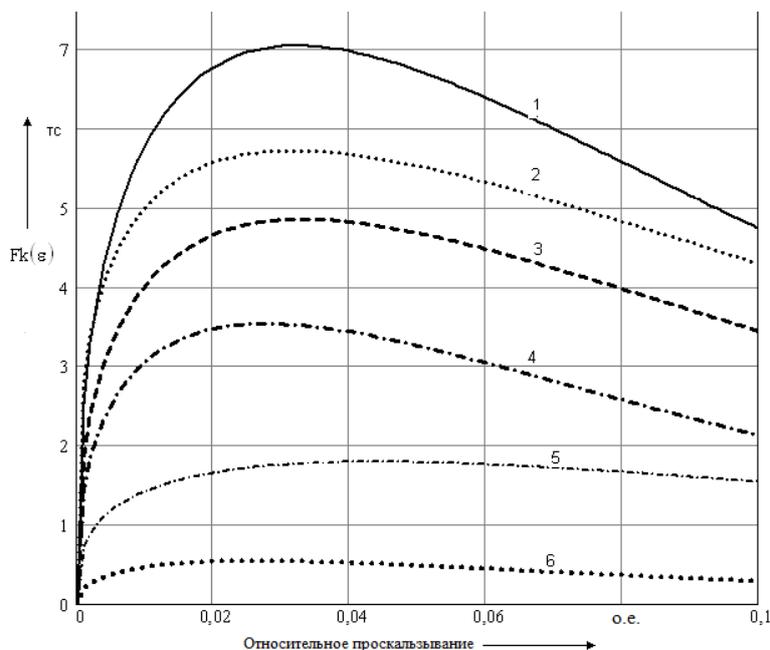


Рисунок 2 – Влияние состояния рельсов на реализацию силы тяги локомотива: 1 – сухой чистый рельс с подачей песка; 2 – сухой обезжиренный рельс; 3 – сухой чистый рельс; 4 – мокрый рельс с подачей песка; 5 – чистый рельс, политый водой; 6 – рельс, покрытый масляной пленкой

Главный вывод работы состоит в том, что применение теоремы академика А. Н. Тихонова о разделении движений системы на «медленные» и «быстрые» составляющие позволяет относительно просто и легко изучать достаточно сложные дифференциальные уравнения «жесткого» типа, к которым относятся уравнения движения поезда, если учитывается взаимодействие колесных пар подвижного состава и железнодорожного пути. Более того, можно построить асимптотическую предельную теорию тяги поездов, учитывающую волновые процессы в составе и в тормозной магистрали.

При этом удалось получить некоторые новые результаты, касающиеся взаимодействия колесной пары и пути в рамках гипотезы Ф. Картера. Естественно опробовать предлагаемую методику при использовании других гипотез.

### Список литературы

1. Голубенко, А. Л. Сцепление колеса с рельсом [Текст] / А. Л. Голубенко / Восточноукраинский гос. ун-т. – Луганск, 1999. – 476 с.
2. Горячева, И. Г. Механика контактного взаимодействия [Текст] / И. Г. Горячева. – М.: Наука, 2001. – 478 с.
3. Carter, F. W. On the stability of running of locomotives [Text] / Proc. of the Roy. Soc. of London. 1928. – V. 121. – Ser. A 788. – P. 585 – 611.
4. Kalker, J. J. Survey of wheel-rail rolling contact theory [Text] / Vehicle system dynamics. 1979. – Vol 5. – P. 317 – 358.

5. Теория электрической тяги [Текст] / В. Е. Розенфельд, И. П. Исаев и др. – М.: Транспорт, 1995. – 294 с.
6. Сакало, В. И. Контактные задачи железнодорожного транспорта [Текст] / В. И. Сакало, В. С. Коссов. – М.: Машиностроение, 2004. – 496 с.
7. Математическое моделирование динамики электровозов [Текст] / А. Г. Никитенко, Е. М. Плохов и др. – М.: Высшая школа, 1998. – 274 с.
8. Тихонов, А. Н. Системы дифференциальных уравнений, содержащих параметры при производных [Текст] / А. Н. Тихонов // Известия АН СССР // Математический сб. – 1952. – Т. 31 (73). – № 3. – С. 575 – 586.
9. Андронов, А. А. Теория колебаний [Текст] / А. А. Андронов, А. А. Витт, С. Э. Хайкин. – М.: Наука, 1981. – 918 с.
10. Лисунов, В. Н. Оптимальное использование силы тяги локомотива по сцеплению [Текст] / В. Н. Лисунов // Железнодорожный транспорт. – 1982. – № 9. – С. 24 – 27.
11. Куценко, С. М. Экспериментальные исследования некоторых явлений, протекающих в точках опоры колеса локомотива на рельсы [Текст] / С. М. Куценко / Вопросы конструирования, расчета и испытаний тепловозов. – М.: Машиностроение, 1957. – С. 50 – 68.
12. Игнатенко, В. П. О характере сил трения в контакте катящегося по направляющей колеса [Текст] / В. П. Игнатенко, С. М. Куценко, Т. В. Гулякина / Вестник ХПИ. – Харьков, 1985. – Вып. 99. – С. 39 – 41.
13. Нехаев, В. А. Оптимизация режимов ведения поезда с учетом критериев безопасности движения (методы и алгоритмы) [Текст]: дис... докт. техн. наук: 05.22.07 / Нехаев Виктор Алексеевич. – Омск, 2000. – 352 с.

## References

1. Golubenko A. I. *Stseplenie koleasa s rel'som* (Grip rail wheels). Lugansk: VUGU Publishing House, 1999, 476 p.
2. Goryacheva I. G. *Mekhanika kontaktnogo vzaimodeistviia* (Mechanics of contact interaction) Moscow: Nauka, 2001, 478 p.
3. Carter, F. W. On the stability of running of locomotives. Proc. of the Roy. Soc. of London. 1928. – V. 121. – Ser. A 788. – P. 585 – 611.
4. Kalker, J. J. Survey of wheel-rail rolling contact theory. Vehicle system dynamics. 1979. – Vol 5. – P. 317 – 358.
5. Rosenfeld V. E., Isaev I. P., Sidorov N. N., Ozerov M. I. *Teoriia elektricheskoi tiagi* (Theory of electric traction). Moscow: Transport, 1995, 294 p.
6. Sakalo V. I., Kossov V.S. *Kontaktnye zadachi zheleznodorozhnogo transporta* (Contact problems of railway transport). Moscow: Mashinostroenie, 2004, 496 p.
7. Nikitenko A. G., Plokhov E. M., Zarif'ân A. A., Khomenko B. I. *Matematicheskoe modelirovanie dinamiki elektrovovozov* (Mathematical modeling of dynamics of electric locomotives). Moscow: Vysshaya Shkola, 1998, 274p.
8. Tikhonov A. N. Systems of differential equations that contain parameters when derivatives [Sistemy differentsial'nykh uravnenii, sodержashchikh parametry pri proizvodnykh]. *Izvestiia AN SSSR – Izvestiya AN USSR*, 1952, vol. 31 (73), no. 3, pp. 575 – 586.
9. Andronov A. A., Witt A. A., Khaikin S. E. *Teoriia kolebanii* (The theory of fluctuations). – Moscow: Nauka, 1981, 918 p.
10. Lisunov V. N. Optimal tractive force on the coupling [Optimal'noe ispol'zovanie sily tiagi lokomotiva po stsepleniiu]. *Zheleznodorozhnyi transport – Railway Transport*, 1982, no. 9. pp. 24 – 27.
11. Kutsenko S.M. *Ekspierimental'nye issledovaniia nekotorykh iavlenii, protekaiushchikh v tochkakh opory koleasa lokomotiva na rel'sy* (Experimental studies of certain phenomena that occur at the points of the wheel bearings of the locomotive on Rails). Moscow: Mashinostroenie, 1957, pp. 50 – 68.
12. Ignatenko V. P., Kutsenko S M., Gulâkina T. V. About the nature of the force of friction in the contact rolls along the guide wheels [O kharaktere sil treniia v kontakte katiashchegosia po napravliaiushchei koleasa]. *Vestnik KhPI – Bulletin Kharkov Politekhn*, 1985, no. 99, pp. 39 – 41.

13. Nehaev V. A. *Optimizatsiia rezhimov vedeniia poezda s uchetom kriteriev bezopasnosti dvizheniia (metody i algoritmy)* (Optimization of modes of conduct of trains based on the criteria of safety (methods and algorithms)). Doctor's thesis, Omsk, 2000, 352 p.

УДК 629.4

В. С. Смольянинов, А. В. Смольянинов

## ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ РЕМОНТА ДЕТАЛЕЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА С УЧЕТОМ РАЗМЕРНЫХ СВЯЗЕЙ СБОРОЧНОЙ ЕДИНИЦЫ

*В статье приведено обоснование использования размерной координации рабочих поверхностей корпусов буксовых узлов экипажной части грузовых вагонов в системе тележки модели 18-100 с целью определения конструктивных параметров технологического приспособления, используемого для выполнения операции механической обработки поверхностей после нанесения покрытий, обеспечивающих компенсацию износов. Обоснованы параметры технологического приспособления. Приведено в общем виде конструктивное решение.*

Долговечность работы машин определяется совершенством конструкции и технологических процессов их изготовления и ремонта. В процессе работы надежность машин постоянно снижается вследствие изнашивания трущихся деталей, коррозии, усталости металла и его старения.

Для поддержания техники в работоспособном состоянии необходимо систематически повышать качество ремонта и совершенствовать его способы. Эффективными мероприятиями в ремонтном производстве являются внедрение технологических процессов механизированной наплавки и применение современного технологического оборудования, приспособлений, материалов.

При восстановлении деталей машин механическая обработка резанием является составной частью технологического процесса, определяющей геометрическую точность и качество деталей. Механическую обработку резанием применяют как самостоятельную технологию восстановления деталей под ремонтные размеры, так и в качестве заключительной операции при восстановлении деталей с использованием наплавки и других методов наращивания.

Наибольший интерес при совершенствовании технологического процесса ремонта буксового узла тележки грузового вагона модели 18-100 представляет корпус буксы. Ремонт корпусных деталей всегда сопряжен с трудностями как выбора способов восстановления изношенных поверхностей, так и обоснования технологических параметров. Задача выбора способов восстановления в лучшем случае должна решаться с использованием методов оптимизации по технико-экономическим параметрам. Опытные технологи, однако, решают подобные задачи упрощенно. Чаще всего основой решения проблем является собственный опыт технолога и наличие на предприятии технологий и оснащения, решающих аналогичные задачи.

Однако такие технологических параметры, как толщина наращиваемых слоев, размерные связи исполнительных поверхностей, свойства исполнительных поверхностей и некоторые другие, практически не обосновываются.

Отсутствие надежного, отвечающего требованиям качества ремонта специализированного оснащения является главной причиной того, что на большинстве предприятий корпуса букс обрабатываются без учета точности образующихся при этом размерных связей.

Одним из эффективных путей создания совершенной технологии ремонта тележек вагонов является использование теории анализа размерных связей [1 – 3].

С целью развития приведенной в работе [1] методологии решения технологических задач, связанных с обеспечением качественной сборки экипажной части вагона, выполнен ана-

лиз размерных связей в тележке и влияния на них воздействий различных параметров, в том числе сил, возникающих при торможении. Рассматривались при этом смещения частей конструкции экипажа в допустимом их значении в связи с наличием зазоров. Неравномерность распределения тормозных усилий по осям и колесам в процессе перемещения подвижного состава приводит к изменению геометрии тележек, возникновению в них перекосов. Размерный анализ показывает, что взаимное положение осей колесных пар в каждый момент движения (назовем его «мгновенным») зависит от размерных связей в боковых рамах тележки и размерных связей буксовых узлов.

В связи с изложенным можно сделать вывод о необходимости совершенствования технологии ремонта в части обоснования технологических параметров процессов, используемых для восстановления и с целью создания «нормальной» технологической оснастки, конструктивные параметры которой позволят обеспечить точность выполнения необходимых размеров.

Общеизвестно, что наиболее оптимальным при сборке тележек грузовых вагонов будет метод пригонки при комплектовании их парами боковин. Однако непараллельность осей колесных пар из-за несимметричной (неправильной) геометрии рамы тележки (или из-за неправильно подобранных боковых рам) – еще не все проблемы. Нарушение геометрии тележки может произойти и из-за несимметричного восстановления размерных связей в буксовых узлах колесных пар.

Буксовые узлы колесных пар вагонов со своими размерными связями должны быть включены в размерные связи экипажа. Однако пытаться и их подбирать при сборке будет весьма затруднительно, так как размерные цепи при этом удлинятся и требуемая цель – минимизация перекосов в тележке – практически не будет достижима с точки зрения экономической целесообразности. Экономические потери будут связаны с удорожанием ремонтных работ в связи с ужесточением допусков на восстанавливаемые размеры составляющих звеньев размерных цепей и в связи с увеличением количества таких звеньев. Размерные связи буксовых узлов должны восстанавливаться отдельно и должны соответствовать требованиям метода полной взаимозаменяемости при выполнении сборочных операций.

Симметрия буксового узла относительно оси колесной пары будет означать равенство размеров « $a_1$ » и « $a_2$ » (рисунки 1 и 2).

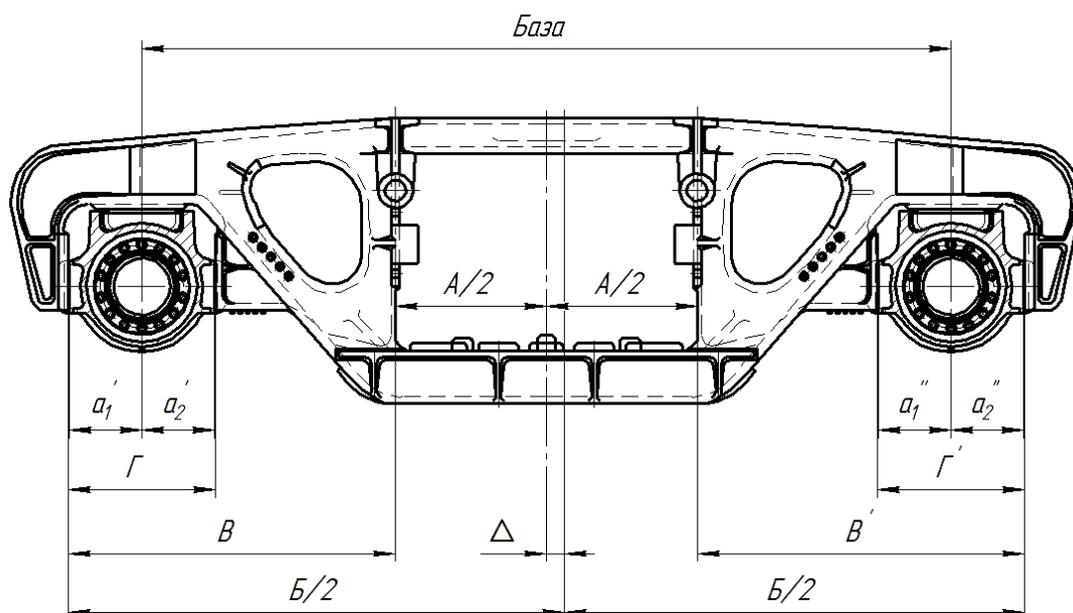


Рисунок 1 – Размерные связи между исполнительными поверхностями буксового проема и корпуса буксы

Кроме этого симметричным корпус буксы будет при правильном положении опорной поверхности и направляющих, т. е. в случае отклонения взаимного положения этих поверх-

ностей от перпендикулярности появятся составляющие сил, которые приведут к неравномерному износу. Сопряжение направляющих корпуса и буксового проема боковой рамы будет происходить не по плоскости, а в определенных локализованных площадках.

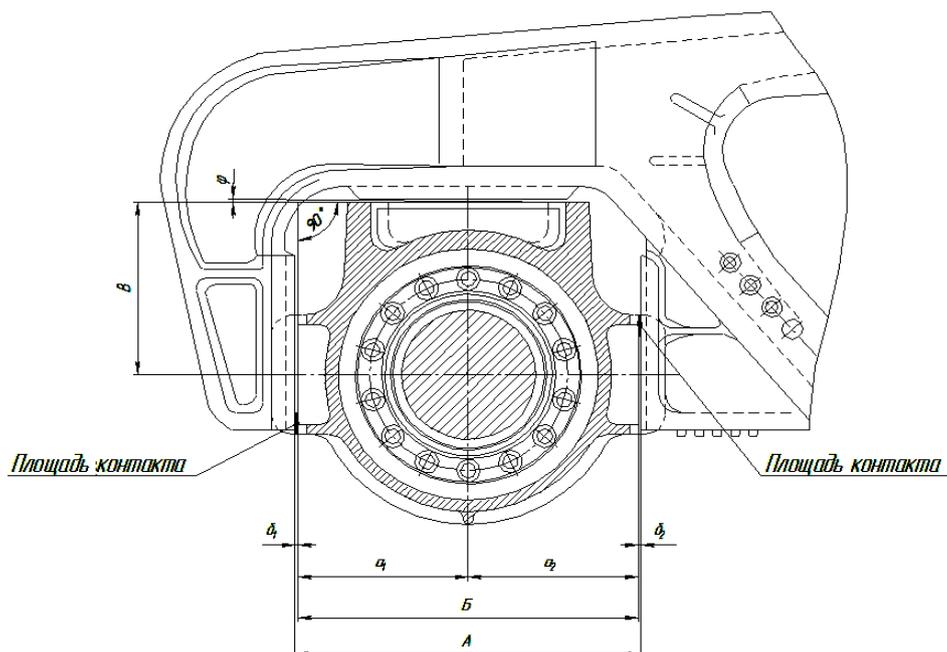


Рисунок 2 – Размерные связи между исполнительными поверхностями в корпусе буксы

Это приведет к интенсификации износа направляющих корпуса и направляющих боковой рамы, к увеличению зазоров между боковой рамой и корпусом и в общем случае – к неправильной работе тележки. Увеличившаяся при этом подвижность сопряжения «корпус буксы – рама» приведет к еще большему искажению геометрии и интенсификации износов. Отсюда задача: путем совершенствования технологии и технологической оснастки «выпрямить» геометрию корпуса буксы при ремонте, задать более точными ее размеры и решить часть проблем, обозначенных выше.

С целью обеспечения симметрии корпуса буксы относительно оси (равенство размеров « $a_1$ » и « $a_2$ ») и взаимной перпендикулярности опорной поверхности и направляющих необходимо совершенствовать технологию ремонта. Анализ технологии и технологического оснащения, призванного реализовать технологию восстановления, показывает, что методы восстановления, связанные с наращиванием изношенных поверхностей и механической обработкой, не всегда решают обозначенные проблемы. Например, толщина наплавляемого слоя определяется, по сути, величинами износов поверхностей, хотя толщина наплавляемых слоев на первом этапе решения проблем должна хотя бы с малой долей точности создавать «правильную» геометрию. Окончательно решает задачу при этом механическая обработка.

Проблемы могли бы решиться проще, если бы технологическая система «станок, приспособление, инструмент, обрабатываемая деталь» имела параметры, однозначно определяющие точное взаимное положение обрабатываемых поверхностей и инструмента, а вся система обладала бы достаточной жесткостью и надежностью. Более простым вариантом следует считать вариант использования существующих средств технологического оснащения, таких как оборудование (станки) и инструмент. Однако такой элемент системы, как приспособление, следует, в простейшем случае, совершенствовать, а более реально – разработать заново. Во втором случае появится возможность использовать все теоретические положения и практические наработки, решающие проблемы качественной механической обработки.

Анализ приспособления (конструкции, принципа действия и т. д.), используемого в действующих предприятиях для закрепления (базирования) корпуса буксы при механической обработке после наплавки, вскрывает его недостатки.

Недостатки в технологическом оснащении ремонтных предприятий связаны со многими причинами. В первую очередь это, конечно же, недостатки в организации технологических служб, а во-вторых, это недостаточная связь производителей-ремонтников с машиностроителями с точки зрения использования теоретических наработок, давно известных в машиностроении. Проблеме обоснования параметров технологического оснащения и методологии выбора этих параметров посвящена статья [3].

Существующее приспособление для механической обработки рабочих поверхностей корпуса буксы с точки зрения основ технологии машиностроения не реализует внутреннюю цилиндрическую поверхность корпуса как двойную направляющую базу, что гарантировало бы реализацию принципа совмещения баз.

При базировании на существующее приспособление корпус опирается на торец, реализуя его как установочную базу (рисунок 3, а). Это нарушает основополагающее требование по достижению точности – базирование по принципу совмещения баз [4]. Следует при этом отметить, что конструктивно комплект подшипников буксового узла реализует внутреннюю цилиндрическую поверхность корпуса в качестве основной конструкторской базы. Конечно, достичь требуемой точности можно было бы выверкой положения основной конструкторской базы относительно обрабатываемого инструмента. Однако практически это трудно выполнить без специальных измерительных устройств, тем более что выверка характерна для единичного производства, а вагоноремонтное производство в части ремонта корпусов букс как минимум крупносерийное.

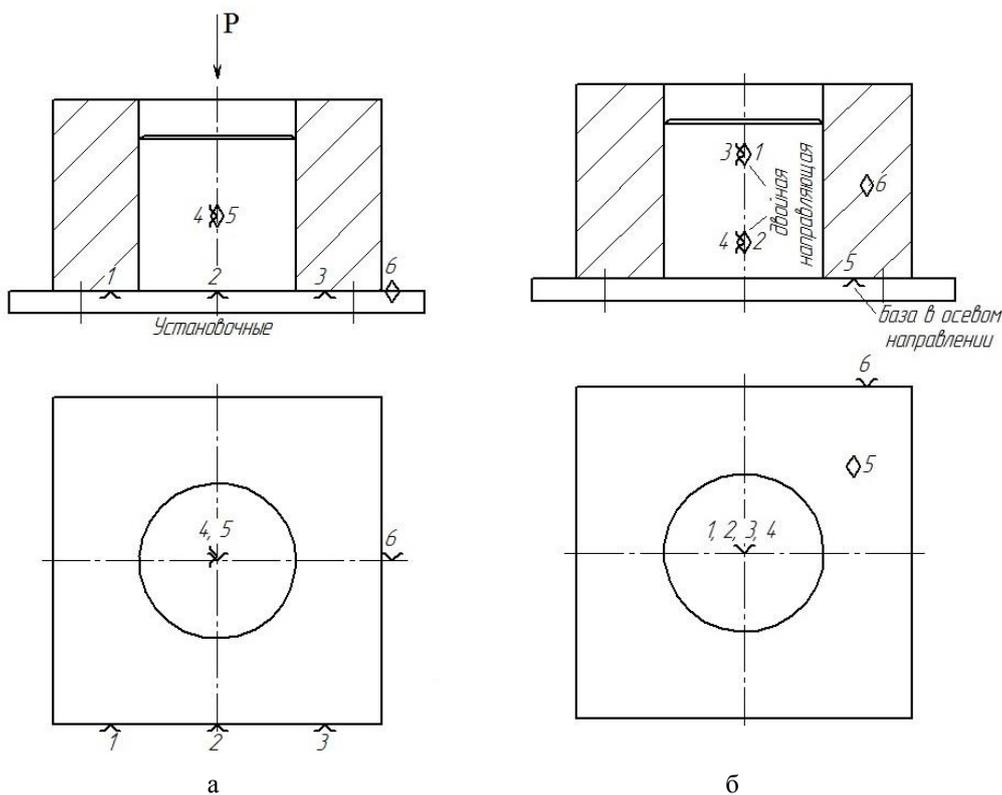


Рисунок 3 – Схемы базирования корпуса при механической обработке: а – неправильная; б – правильная

При механической обработке по существующей технологии (см. рисунок 3, а) установочная база создается по торцу корпуса буксы (комплект опорных точек 1 – 3). За счет сил трения предотвращается поворот (упорная база, точка 6), а на цилиндрическом пальце реализуется двойная опорная база (опорные точки 4 и 5). Такая схема не соответствует принципу совмещения баз. К этому недостатку следует присовокупить еще несколько. Первое – это повышенные зазоры между пальцем и отверстием, неточность приспособления вследствие износов и, по сути дела, невозможность использования существующей конструкции для ре-

лизации принципов базирования. Второе – начальное положение корпуса буксы при механической обработке определяется входящей в комплект планкой в качестве подводимой временной опоры. Такая схема действий содержит в себе выверку. Однако точность положения корпуса (точность базирования) ничем не контролируется, что позволяет усомниться в точности выполняемой операции.

В соответствии с принципом совмещения баз двойная направляющая база (установочная плюс направляющая базы) должна реализоваться по основному отверстию (корпус устанавливается на длинный палец в виде разжимной оправки) и опорная, которой будет торец. Упорная база (опорная точка б) реализуется за счет, например, сил трения по поверхности пальца (рисунок 3, б).

По результатам оценочных измерений, выполненных на рабочем месте фрезеровщика, погрешность базирования при установке на существующее приспособление составляет примерно 1 – 2 мм от теоретически обоснованного положения корпуса буксы, что дает угловую погрешность в пределах одного градуса. С точки зрения обеспечения качества ремонта это неприемлемо. При выполнении операций механической обработки не гарантируется симметричность положения направляющих поверхностей относительно оси буксы. Неперпендикулярность опорной и направляющих поверхностей может привести к неравномерному износу как направляющих корпуса, так и направляющих буксового проема. Отметим еще раз высокую трудоемкость обработки по этой схеме, так как выверка (установка) положения и контроль точности осуществляются с использованием несовершенного измерительного приспособления, которое само имеет серьезные погрешности.

Таким образом, для решения задачи обеспечения точности механической обработки, а следовательно, и симметрии корпуса буксы необходимо

на основании теоретической схемы базирования разработать конструкцию приспособления;

выполнить силовой расчет приспособления;

оценить точность приспособления с целью обеспечения точности базирования.

Для фрезерования опорной и направляющих поверхностей корпуса буксы спроектировано приспособление (рисунок 4) в виде кулачковой самоцентрирующей оправки с диафрагменным приводом и поворотным столом.

Работа зажимного устройства приспособления осуществляется с помощью сжатого воздуха. При подаче воздуха через штуцер 10 в полость корпуса 1 шток 6 под действием диафрагмы 9 двигается поступательно вниз и перемещает втулку 4, прикрепленную к штоку с помощью гайки 13, три кулачка 3, разжимаясь, фиксируют обрабатываемый корпус на приспособлении и в то же время обеспечивают его положение относительно оси. Обратный ход штока и отпуск детали производятся от пружины 12 и пружинных колец 5. Основание 2 приспособления служит для размещения на нем корпуса с элементами устройства и установки приспособления на столе фрезерного станка. Важным элементом конструкции является фиксатор 8, позволяющий зафиксировать обрабатываемый корпус в определенном предварительном положении относительно оси отверстия. Окончательно корпус 1 фиксируется относительно основания 2 болтами 18 и гайками 14. Сферическое кольцо 7 на корпусе приспособления крепится (с условием свободы перемещений по сферической поверхности в пределах, необходимых для компенсации погрешностей взаимного положения торца отверстия корпуса буксы и его цилиндрической поверхности) планками 11 и винтами 17. Не указанные в описании элементы конструкции имеют второстепенное назначение, понятное из рисунка.

Таким образом, спроектированное зажимное устройство позволило достичь следующих результатов:

- обеспечило стабильность заданного положения детали при обработке;
- погрешность симметричности направляющих буксы снижена до нуля;
- приложение силы зажима максимально приблизило деталь к месту обработки;
- точка приложения сил зажима находится в зоне, образованной условными линиями, соединяющими опорные точки детали в приспособлении;

– исключило деформацию деталей и порчу их поверхностей от действия сил закрепления;  
 – обеспечило повышение производительности (время на базирование сократилось более чем на 60 %).

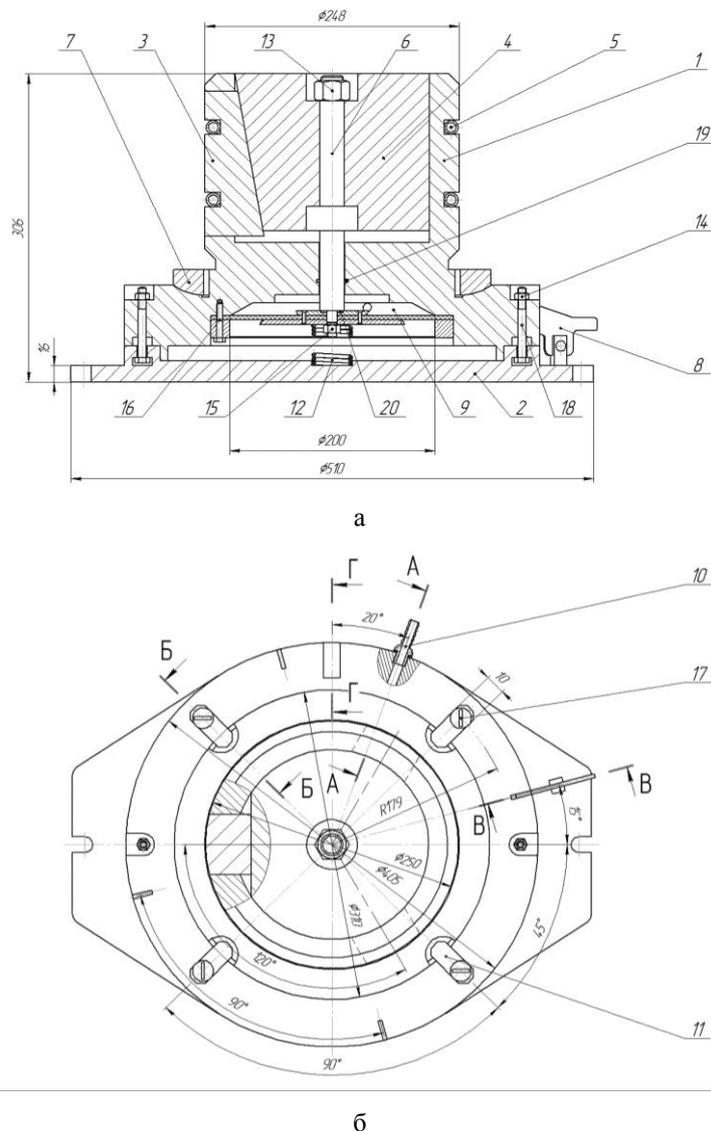


Рисунок 4 – Приспособление для механической обработки корпусов букс грузовых вагонов

### Список литературы

1. Смольянинов, В. С. Концепция построения технологического процесса ремонта ходовой части грузового вагона [Текст] / В. С. Смольянинов, В. В. Требин, А. В. Смольянинов // Исследование процессов взаимодействия объектов железнодорожного транспорта с окружающей средой: Материалы сборника статей по результатам выполнения программы фундаментальных и поисковых научно-исследовательских работ за 1998 год / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 1998. – 139 с.
2. Смольянинов, В. С. Обоснование пути повышения надежности тормозной системы грузовых вагонов [Текст] / В. С. Смольянинов, П. В. Смольянинов, В. А. Четвергов // Известия Транссиба / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск. – 2012. – № 1 (9). – С. 42 – 50.
3. Смольянинов, А. В. Размерные расчеты тормозной рычажной передачи грузового вагона как метод обоснования путей повышения качества ремонта [Текст] / А. В. Смольянинов, П. В. Смольянинов // Известия Транссиба / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск. – 2012. – № 2 (10). – С. 27 – 36.

4. Антонюк, В. Е. Конструктору станочных приспособлений: Справ. пособие [Текст] / В. Е. Антонюк. – Минск: Беларусь, 1991. – 423 с.

## References

1. Smolyaninov V. S. Concept of process repair the chassis of freight cars [Kontseptsiiia postroeniia tekhnologicheskogo protsessa remonta khodovoi chasti gruzovogo vagona]. *Materialy sbornika statei po rezul'tatam vypolneniia programmy fundamental'nykh i poiskovykh nauchno-issledovatel'skikh rabot za 1998 god.* (Materials collection of articles on the results of the program of fundamental and exploratory research works for 1998). – Omsk, 1998.

2. Smolyaninov V. S., Smolyaninov P. V., Chetvergov V. A. Rationale for ways to improve the reliability of the braking system of freight wagons. [Obosnovanie puti povysheniia nadezhnosti tormoznoi sistemy gruzovykh vagonov]. *Izvestiia Transsiba – The Trans-Siberian Bulletin*, 2012, no. 1 (9), pp. 42 – 50.

3. Smolyaninov A. V., Smolyaninov P. V. Dimensional calculations brake rigging freight cars as a method of study ways to improve the quality of repair [Razmernye raschety tormoznoi rychazhnoi peredachi gruzovogo vagona kak metod obosnovaniia putei povysheniia kachestva remonta]. *Izvestiia Transsiba – The Trans-Siberian Bulletin*, 2012, no. 2 (10), pp. 27 – 36.

4. Antoniuk V. E. *Konstruktoru stanochnykh prisposoblenii* (The designer of machine tools). Minsk, 1991, 423 p.

УДК 620.192.63

В. В. Харламов, П. К. Шкодун, И. В. Шестаков

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОМПЛЕКСНОЙ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

*В данной статье показан способ совершенствования технологии оценки состояния изоляции тяговых двигателей за счет внедрения современных средств технической диагностики. В статье проведен краткий анализ применяемых методов диагностирования с указанием критериев оценки по каждому методу. Предложены структура построения автоматизированной системы комплексного диагностирования состояния изоляции тягового электродвигателя и алгоритмы работы системы и оценки результатов испытаний на основе комплекса диагностических параметров.*

Применение сложных систем технической диагностики на всех этапах жизненного цикла электротехнических изделий является одной из современных тенденций развития техники. В настоящее время на предприятиях создаются сложные автоматизированные системы мониторинга и диагностики технического состояния оборудования, в том числе и электродвигателей.

Значительная доля подвижного состава ОАО «Российские железные дороги» оборудована тяговыми электродвигателями (ТЭД) постоянного тока. Оценка состояния качества изоляции таких электродвигателей требует особого подхода, набора методов и критериев оценки. Создание системы комплексного диагностирования изоляции, учитывающей особенности конструкции и условия эксплуатации ТЭД, является в настоящее время актуальной задачей. Особое внимание уделяется состоянию межвитковой изоляции ТЭД как основному фактору, влияющему на его работоспособность.

Устройства и системы комплексного диагностирования изоляции представлены на рынке компаниями *Megger* (Австрия), ЗАО «Электротехнические системы 1» (г. Санкт-Петербург), *SKF (BAKER INSTRUMENT)* (Швеция), *SCHLEICH* (Германия), *DIMRUS* (г. Пермь). Ряд приборов комплексной оценки состояния изоляции электродвигателей, представляющих особый интерес, производятся компанией «Мастерская по ремонту электроинструмента» (г. Волжск)

[2]. Также в эксплуатации успешно применяются узкоспециализированные измерительные приборы, такие как мегомметр, устройство поиска межвитковых замыканий, приборы контроля токов утечки, устройства контроля частичных разрядов и др. Как уже было отмечено, большая часть представленного оборудования предназначена для бесколлекторных машин. Стоит также отметить достаточно высокую стоимость импортных диагностических комплексов, внедрение которых с большой вероятностью не обеспечит окупаемость затраченных средств. На основании анализа существующих систем и тенденций развития методологии тестирования изоляции электрических машин для построения автоматизированной системы предложен ряд методов, позволяющих произвести комплексную оценку состояния изоляции ТЭД.

Первая группа методов направлена на тестирование состояния корпусной изоляции. В данную группу входят метод «время/сопротивление», метод тестирования ступенчатым напряжением, определение коэффициентов поляризации и абсорбции [3]. Применение данных методов позволяет оценить качество корпусной изоляции, определить степень ее увлажненности и выполнить прогноз наработки на отказ.

В таблице 1 приведены критерии оценки состояния изоляции при тестировании корпусной изоляции ( $t = 10\text{--}30^\circ\text{C}$ ).

Для тестирования состояния межвитковой изоляции предлагается применить метод волновых затухающих колебаний [4]. Применение данного метода позволяет однозначно диагностировать наличие межвитковых замыканий и определить общее состояние межвитковой изоляции при отсутствии явно выраженных повреждений.

Таблица 1 – Значения критериев для оценки состояния изоляции ТЭД

| Параметр, ед. изм.  | «Отлично» | «Хорошо» | «Удовл.»  | «Неудов.»                         |
|---------------------|-----------|----------|-----------|-----------------------------------|
| $R_{из}$ , МОм      | > 10      | 5 ... 10 | 3 ... 5   | < 3                               |
| $\Delta R_{из}$ , % | < 5       | 5 ... 15 | 15 ... 20 | > 20                              |
| $D$                 | 1,8       | 1,5      | 1,3       | < 1,2                             |
| $PI$                | 4         | 3        | 1-2       | < 1 или > 5                       |
| $\Delta R_{ст}$ , % | < 3       | 5        | 7         | > 10(или > 20 по циклу испытания) |

В таблице 1 приняты следующие обозначения:  $R_{из}$  – сопротивление изоляции обмотки якоря, катушек главных и добавочных полюсов и компенсационной обмотки, измеренное при тестовом напряжении 2500 В;  $\Delta R_{из}$  – относительное изменение сопротивления  $R_{из}$  по сравнению с предыдущим тестированием;  $D$ ,  $PI$  – коэффициенты абсорбции и поляризации соответственно;  $\Delta R_{ст}$  – максимальное относительное изменение сопротивления  $R_{из}$  при ступенчатом изменении тестового напряжения от 500 до 2500 В.

Для оценки качества межвитковой изоляции предлагается применить два параметра: обобщенный диагностический коэффициент  $F_{из}$  [5] для случая, когда изоляция не имеет ярко выраженных повреждений, и коэффициент смещения параметров  $S$  при наличии повреждений. Сложность заключается в том, что невозможно заранее определить жесткие границы оценок качества изоляции по значениям приведенных параметров, так как они существенно зависят от конструкции каждого конкретного типа ТЭД. Значения критериев могут быть получены при тестировании вновь изготовленных ТЭД или путем моделирования процесса тестирования программными средствами.

Для проведения моделирования авторами статьи применяется развернутая схема замещения якорной обмотки ТЭД, построенная с учетом особенностей методики тестирования и адаптированная к искусственному внесению в схему изменений, соответствующих возникновению различного рода повреждений изоляции [4].

Таким образом, для адекватной оценки состояния межвитковой изоляции ТЭД по методу волнового отклика необходимо создание базы знаний, в которой были бы заранее определены значения  $F_{из}$  и  $S$  для каждого типа тестируемых ТЭД.

На рисунке 1 приведена структурная схема автоматизированной системы комплексной оценки состояния изоляции ТЭД (АСКДИ).

После подключения измерительных выводов системы к соответствующим выводам в клеммной коробке ТЭД оператор через интерфейс пользователя вводит заводской номер ТЭД и его тип. В базу данных автоматически заносятся введенные параметры и дата тестирования.

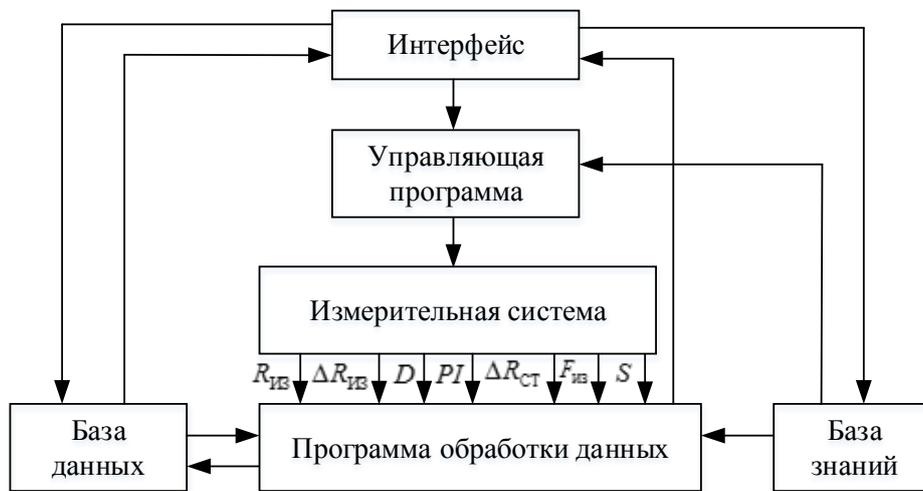


Рисунок 1 – Структурная схема АСКДИ

Алгоритмы тестирования и значения критериев оценки качества изоляции для каждого типа тестируемых ТЭД хранятся в базе знаний.

Рассмотрим назначение основных элементов измерительной системы АСКДИ, схема которой приведена на рисунке 2.

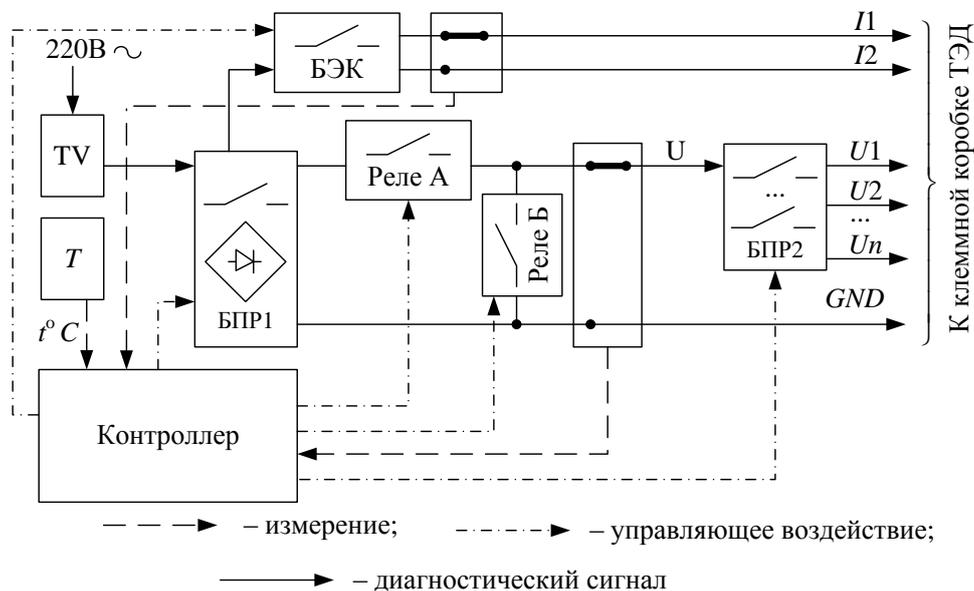


Рисунок 2 – Функциональная схема измерительной системы АСКДИ

Алгоритм тестирования реализуется контроллером. Измерительная система работает в двух режимах: «Тестирование током» и «Тестирование напряжением». Выбор соответствующих режимов работы и переключение между уровнями тестового напряжения осуществляются в блоке переключения режимов работы БПР1. Реле А регулирует подачу тестового напряжения на выводы системы диагностирования, реле Б используется для снятия остаточных зарядов после проведения серии испытаний. Блок БПР2 предназначен для переключения между различными тестируемыми на состояние корпусной изоляции обмотками ТЭД. Тестирование по методу волнового отклика производится в режиме «Тестирование током» с использованием

быстродействующего электронного ключа (БЭКа). Формирование высокого тестового напряжения производится при помощи повышающего трансформатора  $TV$  с секционированной вторичной обмоткой, получающего питание от сети напряжением 220 В. Известно, что сопротивление изоляции в значительной мере зависит от температуры окружающей среды. Таким образом, критерии оценки качества изоляции должны быть скорректированы с учетом температуры, измеренной внешним датчиком  $T$ .

Согласно стандартной процедуре тестирования ступенчатым напряжением [1] испытание начинается с подачи в систему «обмотка/корпус» испытательного напряжения 500 В. После этого с помощью АЦП контроллера измеряется напряжение на измерительном шунте и вычисляются значения тока утечки и сопротивления изоляции при данном тестовом напряжении. Согласно установленным критериям с учетом поправки на текущую температуру определяется наличие или отсутствие повреждений. При отсутствии выявленных повреждений испытательное напряжение повышается на 500 В и цикл измерений повторяется. В каждом последующем шаге (ступени напряжения) вычисляется относительное изменение сопротивления изоляции  $\Delta R_{ст}$  по формуле:

$$\Delta R_{ст} = \frac{R_{сти}}{R_{ст(i-1)}}, \quad (1)$$

где  $R_{сти}$  – значение сопротивления изоляции, измеренное на  $i$ -й ступени тестового напряжения;

$R_{ст(i-1)}$  – значение сопротивления изоляции, измеренное на  $(i - 1)$ -й ступени.

Приблизительные критерии оценки состояния изоляции по значениям данного параметра  $\Delta R_{ст}$  приведены в таблице 1. Так как параметр  $\Delta R_{ст}$  является относительным, значения данных критериев не нуждаются в корректировке по температуре [8]. Повышенные значения параметра могут говорить о развивающемся повреждении либо о переувлажнении изоляции.

При достижении значения испытательного напряжения 2500 В производится вычисление значения сопротивления изоляции  $R_{из}$ . Качество изоляции оценивается в соответствии со скорректированными по температуре критериями.

Вычисление параметра  $\Delta R_{из}$  производится в случае, когда в базе данных записаны результаты предыдущих испытаний по формуле:

$$\Delta R_{из} = \frac{R_{изи}}{R_{из(i-1)}}, \quad (2)$$

где  $R_{изи}$  – значение сопротивления изоляции, измеренное при испытательном напряжении 2500 В в  $i$ -м испытании;

$R_{из(i-1)}$  – значение сопротивления изоляции, измеренное при испытательном напряжении 2500 В в  $(i - 1)$ -м испытании.

Значения параметра  $\Delta R_{из}$  отражают процессы медленной деградации изоляции в процессе эксплуатации. Необходимо обращать внимание на степень изменения параметра  $\Delta R_{из}$  в долгосрочной перспективе. Так, резкое увеличение  $\Delta R_{из}$  может указывать на ускорение процессов деградации и необходимость проведения соответствующих профилактических мероприятий. График изменения сопротивления изоляции  $R_{из}$  от времени наглядно показывает ускорение процессов старения в изоляции. На основании результатов текущих измерений, а также предыдущих, хранящихся в базе данных, оператор АСКДИ может вывести соответствующий график на отображение.

На рисунке 3 приведен алгоритм выполнения серии измерений в режиме «Тестирование напряжением».

Для определения степени увлажненности изоляции производятся дополнительные измерения сопротивления изоляции на 15-й и 60-й секундах, а также на 10-й минуте после подачи

испытательного напряжения, обозначают значения данных сопротивлений как  $R_{15}$ ,  $R_{60}$  и  $R_{10}$  соответственно. Степень увлажнения изоляции ТЭД и возможность его дальнейшей эксплуатации определяются по значениям коэффициентов абсорбции  $D$  и поляризации  $PI$  (*polarization index*), определяемым по формулам:

$$D = \frac{R_{15}}{R_{60}}; \quad (3)$$

$$PI = \frac{R_{60}}{R_{10}}. \quad (4)$$



Рисунок 3 – Алгоритм тестирования корпусной изоляции ТЭД

Критерии оценки состояния изоляции по значениям коэффициентов  $D$  и  $PI$  приведены в таблице 1.

После окончания цикла испытаний в блоке БПР2 происходит переключение испытательного выхода системы к выводу  $U_2$ , подключенному к другой обмотке ТЭД. Процедура повторяется до тех пор, пока корпусная изоляция не будет протестирована в полном объеме, в том числе и в системе «якорная обмотка – корпус».

Испытание межвитковой изоляции производится в режиме «Тестирование током». В процессе тестирования в якорную обмотку через щетки подаются малые по длительности (10 ... 100 мкс) низковольтные (3 ... 12 В) импульсы, в результате чего в системе, состоящей из индуктивности и собственной распределенной емкости обмотки, возникают волновые затухающие колебания, которые фиксируются с помощью АЦП контроллера. Определяются значения амплитуды первого и второго колебаний  $U_{BO1}$ ,  $U_{BO2}$  и их период  $T$ . Особенность процесса тестирования якорной обмотки ТЭД по методу волнового отклика состоит в том, что для выявления межвитковых замыканий необходимо повернуть якорь на угол, не менее

$$\theta = \frac{\pi}{p}, \quad (5)$$

где  $p$  – количество пар полюсов в ТЭД.

Если в обмотке возникло межвитковое замыкание, то в процессе поворота якоря на угол  $\theta$  параметры волнового отклика будут заметно изменяться. Важно, чтобы параметры волновых откликов фиксировались системой диагностирования на протяжении всего процесса поворота якоря. В общем случае изменение значений  $U_{BO1}$  в процессе поворота якоря на угол  $\theta$  на 20 % и более указывает на наличие в обмотке межвиткового замыкания.

В случае отсутствия повреждений форма волновых откликов не изменяется в процессе поворота якоря ТЭД и для оценки состояния изоляции предлагается использовать обобщенный диагностический коэффициент [5], определяемый по формуле:

$$F_{из} = \frac{\ln\left(\frac{U_{BO1}}{U_{BO2}}\right)}{T}. \quad (6)$$

Критерии оценки состояния изоляции по параметру  $F_{из}$  индивидуальны для каждого типа ТЭД. Для успешного диагностирования необходимо внесение данных критериев в базу знаний АСКДИ.

Рассмотрим алгоритм определения состояния системы изоляции ТЭД на основе полученных в процессе тестирования данных. Результатом проведения испытаний является технический диагноз, содержащий информацию о годности (негодности) системы изоляции к дальнейшей эксплуатации, а также о наличии и природе повреждений.

Определение технического состояния производится с применением математического аппарата нечеткой логики. Результаты испытаний по каждому методу согласно таблице 1 выражены в нечетких терминах («отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»). Иерархическая структурная схема нечеткого логического вывода о техническом состоянии системы изоляции ТЭД приведена на рисунке 4.

На приведенном рисунке влияющие факторы обозначены как  $X$ . укрупненный фактор  $Y1 = f(X1, X2, X3)$  определяет состояние корпусной изоляции,  $Y2 = f(X4, X5)$  – состояние межвитковой изоляции,  $Y3 = f(X6, X7)$  позволяет определить степень увлажнения изоляции, корень процесса  $F = f(Y1, Y2, Y3)$  – техническое состояние изоляции ТЭД. Комплексный подход к процессу оценки состояния изоляции подразумевает учет всех семи параметров, определенных в процессе испытаний.

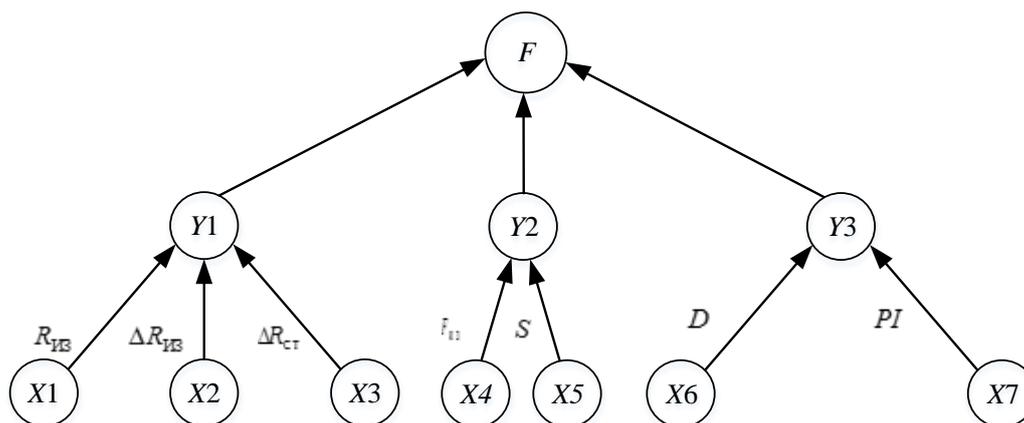


Рисунок 4 – Структурная схема определения технического состояния системы изоляции ТЭД

Примененный в системе комплексный подход к определению состояния изоляции ТЭД позволяет повысить объективность результатов испытаний и производить прогнозирование технического состояния изоляции и научно обоснованное планирование ремонтных и профилактических мероприятий. Предлагаемая система АСКДИ обладает необходимым потенциалом для внедрения в процесс технического обслуживания или в состав бортовых систем диагностики подвижного состава.

## Список литературы

1. Megger: Guide to Diagnostic Insulation Testing Above 1kV, Second Edition / D. O. Jones, J. R. Jowett and others. – 2002. p. 47.
2. Бегиев, А. И. Диагностическое оборудование для проверки якорей и статоров электродвигателей [Текст] / А. И. Бегиев, В. А. Тихонов // «Ремонт & Сервис». – 2009. – № 1. – С. 58 – 62.
3. Харламов, В. В. Оценка технического состояния изоляции тяговых электродвигателей подвижного состава [Текст] / В. В. Харламов, П. К. Шкодун, И. В. Шестаков // Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов: Материалы всерос. техн. конф. с междунар. участием / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2014. – С. 211 – 222.
4. Харламов, В. В. Тестирование межвитковой изоляции якорной обмотки тягового электродвигателя по методу волнового отклика [Текст] / В. В. Харламов, П. К. Шкодун, И. В. Шестаков // Известия Транссиба / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск. – 2015. – № 2 (22). – С. 39 – 45.
5. Губин, И. Б. Предэксплуатационная диагностика и моделирование состояния изоляции электродвигателей сезонно эксплуатируемого оборудования в сельском хозяйстве. [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.20.02 / Губин Игорь Борисович. – Барнаул, 2003. – 20 с.

## References

1. Jones D. O., Jowett J. R., Thomson S.G., Danner D. S. – Megger: Guide to Diagnostic Insulation Testing Above 1kV, Second Edition. – 2002. p. 47.
2. Begiev A. I., Tihonov V. A., Diagnostic equipment for motor armatures and stators. Remont & Servis, 2009, no. 1, pp. 58 – 62.
3. Harlamov V. V., Shkodun P. K., Shestakov I. V. Evaluation of traction motors insulation technical condition on rolling stock [Otsenka tekhnicheskogo sostoianiia izoliatsii tiagovykh elektrodvigatelei podvizhnogo sostava]. *Ekspluatatsionnaia nadezhnost' lokomotivnogo parka i povyshenie effektivnosti tyagi poezdov: materialy vtoroi vserossiiskoi tekhnicheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* (Ekspluatatsionnaya nadezhnost lokomotivnogo parka i povyshenie effektivnosti tyagi poezdov: materialyi vtoroy vserossiyskoy tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem). Omsk. – 2014, pp. 211 – 222.
4. Harlamov V. V., Shkodun P. K., Shestakov I. V. Testirovanie mezhvitkovoi izoliatsii iakornoi obmotki tiagovogo elektrodvigatelea po metodu volnovogo otklika [Traction motor turn-to-turn insulation testing by wave response method]. *Izvestiia Transsiba – The Trans-Siberian Bulletin*, 2015, no. 2 (22), pp. 39 – 45.
5. Gubin I. B. *Predekspluatatsionnaia diagnostika i modelirovanie sostoianiia izolia-tsii elektrodvigatelei sezonno ekspluatiruemogo oborudovaniia v sel'skom khoziaistve* (Preoperational diagnostics and simulation of seasonal operating induction machines insulation condition in agricultural industry). Ph. D. thesis, Barnaul, AGU, 2003, 20 p.

УДК 621.311

М. М. Никифоров, В. Л. Незевак

## НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ В ХОЛДИНГЕ «РОССИЙСКИЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ»

В статье приведены результаты анализа нормативных и правовых документов Российской Федерации, а также внутренних нормативных документов, устанавливающих основные целевые показатели и требования к деятельности по энергосбережению в холдинге «Российские железные дороги». Обоснована необходимость

*проведения актуализации Энергетической стратегии холдинга «Российские железные дороги» и пересмотра перечня механизмов ее реализации.*

Реформирование ОАО «Российские железные дороги» с выделением дочерних и зависимых обществ и созданием холдинга «РЖД», регулярные изменения в нормативно-правовой базе в сфере энергосбережения и транспортной отрасли, изменения в конъюнктуре внутреннего и мировых рынков, а также потребность в уточнении задач и приоритетов в области энергосбережения обуславливают необходимость систематизации сведений о нормативно-правовом обеспечении деятельности по энергосбережению холдинга «Российские железные дороги» и актуализации механизмов ее реализации.

Деятельность по энергосбережению в холдинге «Российские железные дороги» связана с решением следующих задач:

- 1) систематической актуализацией Энергетической стратегии ОАО «Российские железные дороги», разработкой и выполнением программы ее реализации;
- 2) разработкой и реализацией программ энергосбережения и повышением энергетической эффективности ОАО «Российские железные дороги»;
- 3) реализацией инвестиционного проекта «Внедрение ресурсосберегающих технологий на железнодорожном транспорте»;
- 4) обеспечением контроля графика реализации и достигаемого технико-экономического эффекта внедряемых организационно-технических мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности.

Организация деятельности холдинга «Российские железные дороги» в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности базируется на следующих нормативно-правовых актах Российской Федерации:

- Федеральный закон «Об электроэнергетике» от 26.03.2003 № 35-ФЗ (в ред. от 13.07.2015);
  - Федеральный закон «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 № 261 (в ред. от 13.07.2015);
  - Транспортная стратегия РФ;
  - Энергетическая стратегия РФ;
  - Стратегия электросетевого комплекса РФ;
  - Стратегия развития железнодорожного транспорта;
  - Стратегия долгосрочного социально-экономического развития РФ
- и иных нормативных документах Министерства энергетики РФ, Министерства транспорта РФ, Федеральной службы по тарифам РФ и др.

Требования, устанавливаемые указанными нормативно-правовыми актами, относятся к организации приборного учета энергоресурсов, маркировки класса энергоэффективности зданий, сооружений и оборудования, целевым показателям в области расхода топливно-энергетических ресурсов и др. [1].

На основании государственных стратегических документов в холдинге «РЖД» разрабатываются, утверждаются и регулярно актуализируются внутренние стратегические документы:

- стратегия развития «РЖД»;
- стратегия инновационного развития «РЖД»;
- экологическая стратегия «РЖД»;
- энергетическая стратегия «РЖД» и др.

Центральным документом, определяющим основные задачи и направления энергетической политики с учетом влияния внутренних и внешних факторов, складывающихся на железнодорожном транспорте, на рынке перевозок и в топливно-энергетическом комплексе России с момента утверждения первой редакции в 2004 г. является Энергетическая стратегия ОАО «Российские железные дороги» (далее – Энергостратегия «РЖД»).

Текущие значения ключевых параметров действующих стратегических документов Российской Федерации, которые устанавливают целевые ориентиры и оказывают влияние на параметры Энергостратегии холдинга «Российские железные дороги» при ее актуализации на период до 2020 г. и на перспективу до 2030 г., приведены на рисунке 1.

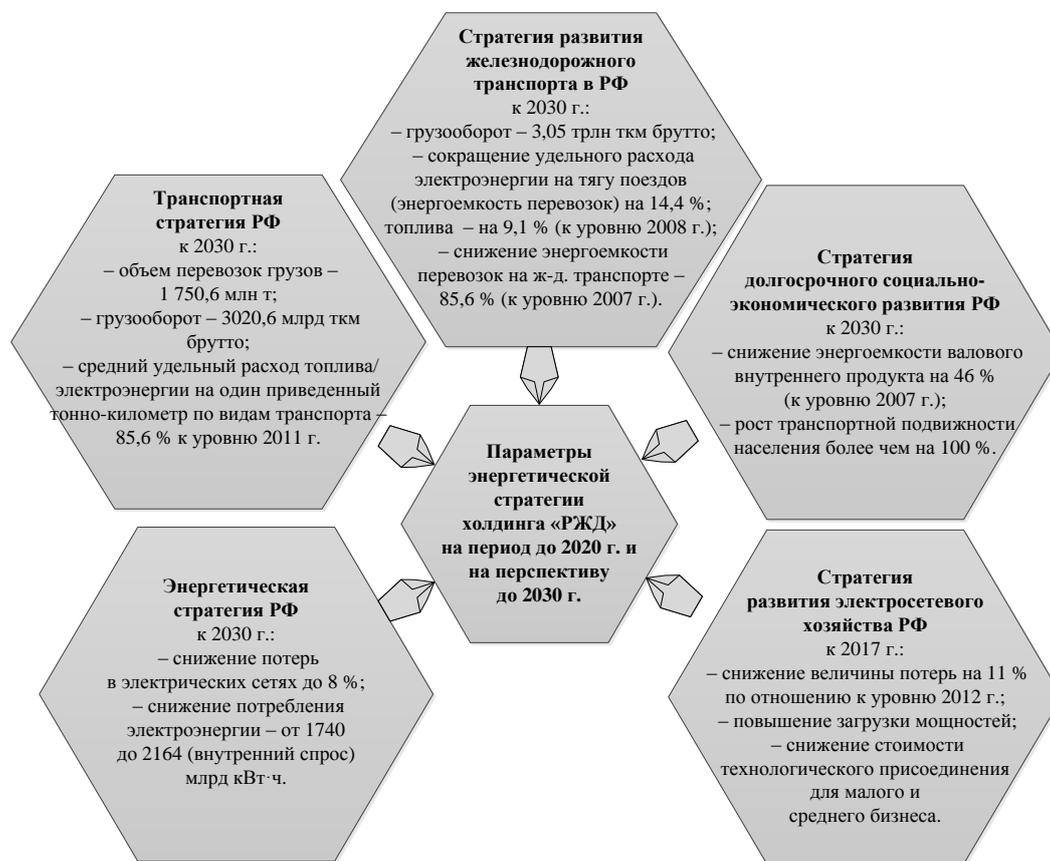


Рисунок 1 – Значения ключевых параметров стратегических документов РФ, влияющих на параметры Энергетической стратегии ОАО «РЖД»

Как видно на рисунке 1, различные документы устанавливают отличающиеся друг от друга ключевые параметры, что связано с различными подходами к их определению, базой исчисления и временем принятия документов. В связи с этим при актуализации Энергостратегии ОАО «РЖД» необходимо ориентироваться на самые высокие показатели.

Основные требования к повышению уровня энергоэффективности, оказывающие влияние на параметры Энергостратегии «РЖД» на период до 2020 г. и на перспективу до 2030 г. и заложенные в стратегических документах ОАО «Российские железные дороги», представлены на рисунке 2.

Каждый из перечисленных выше документов содержит прогнозные значения различных параметров, оказывающих влияние на энергоэффективность перевозочного процесса. Например, увеличение протяженности электрифицированных железных дорог в целом повышает уровень энергоэффективности перевозочного процесса в условном топливе, а установление задания по повышению скорости движения поездов приводит к увеличению полного и удельного расхода энергоресурсов на тягу поездов и снижению энергоэффективности, обеспечивая при этом большую удовлетворенность клиентов.

Основными предпосылками для актуализации Энергостратегии «РЖД» в настоящее время являются следующие:

1) изменение конъюнктуры внутреннего и мировых рынков в 2014 и 2015 гг., спад развития отечественной экономики и, как следствие, падение объемов перевозок грузов и пассажиров;

2) частичная реализация запланированных мероприятий в Энергостратегии «РЖД» от 2010 г., включающих в себя целевые инвестиционные проекты, инвестиционные программы по развитию новой техники и технологий, программы энергосбережения, организационно-технические мероприятия в сфере энергосбережения.

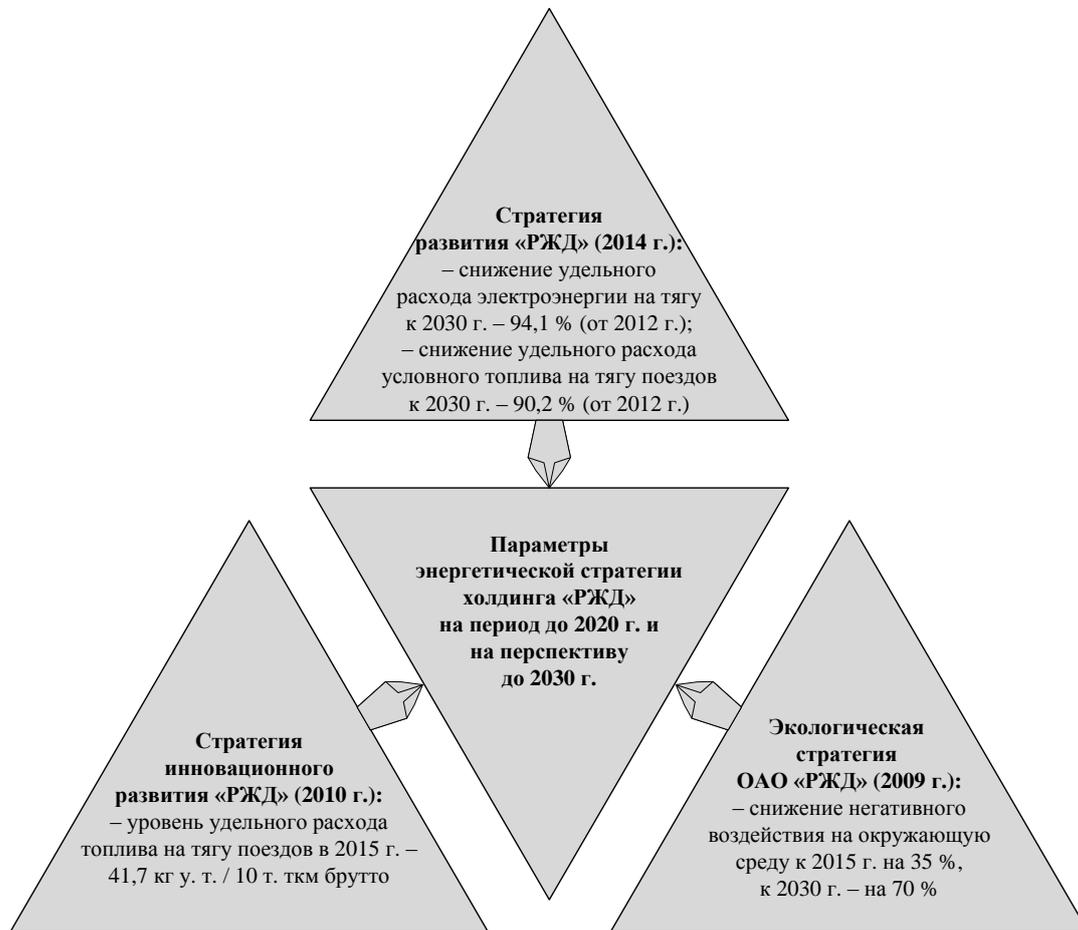


Рисунок 2 – Значения ключевых параметров внутренних стратегических документов ОАО «Российские железные дороги», влияющих на параметры Энергостратегии «РЖД»

Падение объемов перевозок грузов и пассажиров в 2014 и 2015 гг. делает необходимым корректировку прогнозов потребления топливно-энергетических ресурсов в Энергостратегии «РЖД». Прогноз перевозок, представленный в Энергостратегии «РЖД», ориентирует на непрерывный рост перевозок с 2011 г. как по оптимистичному, так и по консервативному варианту. Так, в действующей редакции Энергостратегии «РЖД» прогноз изменения перевозочной работы на электротяге с 2011 г. ориентирует на непрерывный рост объема перевозок до 2030 г. с 3,3 трлн ткм брутто до 4,91 трлн ткм брутто по консервативному варианту и до 5,28 трлн ткм брутто – по оптимистичному. В то же время кризис 2008 г. показал, что объемы перевозок за указанный год снизились на величину около 10 %, после чего потребовалось скорректировать темпы роста по обоим вариантам развития.

Внесение изменений в прогноз развития перевозочной работы потребует пересмотра темпов роста, учета падения объемов перевозочной работы в 2014 и 2015 гг. и корректировки объемов работы на перспективу до 2030 г., а также уровней энергоемкости. Последние для ОАО «Российские железные дороги» установлены приказом Федеральной службы по тарифам (ФСТ России) от 31.03.2015 № 586-т, требования которого ориентируют на темп роста показателей энергоэффективности за три года на 2,1 %.

Для достижения установленных значений энергоемкости и энергоэффективности Федеральная служба по тарифам утвердила для ОАО «РЖД» перечень обязательных мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности, подлежащих включению

нию в программу в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности на 2016 – 2018 гг.:

- совершенствование методов управления движением поездов;
- улучшение показателей использования локомотивов;
- улучшение технического состояния подвижного состава;
- улучшение технического состояния путевого хозяйства;
- улучшение показателей тягового электроснабжения;
- повышение уровня возврата энергии рекуперации на электрической тяге;
- оптимизация режимов работы систем отопления производственных помещений;
- применение энергоэкономичных светильников, оптимизация режимов работы систем освещения, внедрение светодиодной техники;
- повышение энергоэффективности технологических процессов в инфраструктуре.

Значения показателей энергоемкости и энергоэффективности производственной деятельности ОАО «РЖД» установлены интегрально.

В соответствии с установленными направлениями обязательных мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности целесообразно при разработке Энергостратегии «РЖД» задать значения целевых показателей энергоемкости и энергоэффективности по каждому из указанных направлений с учетом специфики потребления энергоресурсов и достигнутого ранее по данному направлению прогресса в области энергосбережения [2, 3].

Как правило, направления развития различных отраслей экономики, государственных и частных компаний предусматривают несколько сценариев развития. В связи с этим в стратегиях или программах развития рассматривается не менее двух вариантов прогнозных значений требуемых показателей, которые могут быть достигнуты при реализации консервативного или оптимистичного сценария их реализации. Актуализированная Энергостратегия «РЖД» должна предусматривать как минимум два сценария развития по аналогии с Энергетической и Транспортной стратегиями РФ: консервативный (энергосырьевой) и оптимистичный (инновационный). При этом так же, как и в общероссийских стратегических документах, ряд принципиальных предпосылок должен быть общим для обоих сценариев [4], например, опережающее снижение удельного расхода энергоресурсов на тягу поездов и нетяговые нужды по сравнению с темпами увеличения объемов перевозочной работы.

Холдинг «РЖД» осуществляет три регулируемых вида деятельности:

- грузо- и пассажироперевозки;
- выработка и передача тепловой энергии третьим лицам;
- услуга по передаче электроэнергии третьим лицам.

При актуализации Энергостратегии «РЖД» необходимо опираться на целевые модели развития по каждому из указанных видов деятельности. Например, следует учитывать планируемое разделение объектов электросетевого хозяйства на устройства технологического электроснабжения и устройства, участвующие в оказании услуг по передаче электроэнергии третьим лицам, которые планируется выделить в отдельную структуру, не связанную с холдингом «РЖД» [5].

Актуализированная Энергостратегия холдинга «Российские железные дороги» на период до 2020 г. и на перспективу до 2030 г. должна обеспечивать выход на контрольные параметры целевого состояния холдинга «РЖД» на период до 2030 г., установленные стратегией развития холдинга «РЖД» на период до 2030 г. и утвержденные советом директоров ОАО «РЖД».

При актуализации Энергостратегии «РЖД» необходимо учитывать результаты частично или полного использования потенциала основных механизмов реализации предыдущей редакции Энергостратегии «РЖД» [6]:

- 1) целевых инвестиционных проектов:
  - внедрение ресурсосберегающих технологий на железнодорожном транспорте;

- внедрение автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ) на вводах подстанций;
  - обновление средств железнодорожной автоматики и телемеханики;
  - комплексный пилотный проект по энергооптимизации нормативных графиков движения поездов;
  - реконструкция и строительство зданий технологического, административного и хозяйственно-бытового назначения железных дорог;
- 2) инвестиционных программ:
- производство новых локомотивов;
  - модернизация тягового подвижного состава;
  - производство мотор-вагонного подвижного состава;
  - обновление устройств энергоснабжения и электрификации;
  - программа создания комплексной АСКУЭ и др.

Также необходимо принимать во внимание действующие или перспективные программы энергосбережения и повышения энергетической эффективности ОАО «РЖД», формируемые на период два – три года.

Еще одним источником информации при разработке Энергостратегии «РЖД» являются результаты энергетического обследования и энергетической паспортизации объектов ОАО «РЖД», проведенного в 2011, 2012 гг., включая оценку энергоэффективности системы тягового электроснабжения и электроподвижного состава и потенциала ее повышения [7] и данные о результатах внедрения программ повышения энергетической эффективности структурных подразделений дирекций и филиалов ОАО «РЖД», разработанных по результатам энергетического обследования. Контроль графика реализации и достигаемого технико-экономического эффекта от реализации инвестиционного проекта «Внедрение ресурсосберегающих технологий на железнодорожном транспорте» обеспечивается с помощью автоматизированной информационной системы (АИС) «Энергоэффективность».

Перечень основных видов и направлений работ, которые необходимо выполнить при подготовке проекта Энергостратегии «РЖД» при ее актуализации на период до 2020 г. и на перспективу до 2030 г., предложен в работе [8].

Проведенный анализ целевых параметров и устанавливаемых требований нормативно-правовых и стратегических документов Российской Федерации и холдинга «Российские железные дороги» позволяет заключить, что для обеспечения эффективной деятельности в области энергосбережения в холдинге «Российские железные дороги» могут быть применены современные методы стратегического планирования, например, представленные в работах [9, 10], включающие в себя следующие основные этапы:

- 1) анализ макросреды (политических, экономических, социальных, технологических, экологических и других факторов);
- 2) анализ микросреды (положение дел в транспортной отрасли в целом, анализ конкурентной ситуации);
- 3) анализ внутренней среды (анализ деятельности компании);
- 4) анализ имеющегося накопленного опыта (оценка результатов реализации энергетической стратегии за предшествующий период);
- 5) SWOT-анализ;
- 6) разработка стратегической карты возможных направлений реализации энергетической стратегии холдинга «Российские железные дороги»;
- 7) подготовка актуализированной Энергетической стратегии холдинга «Российские железные дороги» на период до 2020 г. и на перспективу до 2030 г.

### *Список литературы*

1. Черемисин, В. Т. Основные направления реализации Федерального закона «Об энергосбережении...» № 261-ФЗ от 23.11.09 в холдинге «Российские железные дороги» [Текст] /

В. Т. Черемисин, М. М. Никифоров // Известия Транссиба / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск. – 2010. – № 2 (2). – С. 119 – 123.

2. Никифоров, М. М. Целевые показатели энергосбережения и повышения энергетической эффективности системы тягового электроснабжения и электропотребления на нетяговые нужды [Текст] / М. М. Никифоров // Известия Транссиба / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск. – 2010. – № 3 (3). – С. 110 – 116.

3. Давыдов, А. И. Целевые индикаторы повышения энергоэффективности тяги поездов [Текст] / А. И. Давыдов, М. М. Никифоров // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока / Сибирский гос. ун-т водного транспорта. – Новосибирск. – 2013. – № 1. – С. 93 – 95.

4. Мишарин, А. С. Актуализация Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года [Текст] / А. С. Мишарин, О. В. Евсеев // Транспорт Российской Федерации. – Санкт-Петербург. – 2013. – № 2 (45). – С. 4 – 13.

5. Супрун, В. Н. Железнодорожное электроснабжение – неотъемлемая часть инфраструктурного комплекса [Текст] // В. Н. Супрун // Транспортная газета «Евразия Вести». – 29.09.2015. – № 9. – С. 2, 3.

6. Энергетическая стратегия Холдинга «Российские железные дороги» на период до 2015 г. и на перспективу до 2030 г. [Текст] / ОАО «РЖД». – М., 2011. – 96 с.

7. Черемисин, В. Т. Оценка потенциала повышения энергетической эффективности системы тягового электроснабжения [Текст] // В. Т. Черемисин, М. М. Никифоров // Известия Транссиба / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск. – 2013. – № 2 (14). – С. 75 – 84.

8. Каштанов, А. Л. Актуализация энергетической стратегии холдинга «Российские железные дороги» [Текст] // А. Л. Каштанов, М. М. Никифоров, А. А. Комяков / Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте: Материалы науч. конф. / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2015. – С. 141 – 147.

9. Грант, Р. М. Современный стратегический анализ: Пер. с англ. / Под ред. В. Н. Фунтова. – СПб: Питер, 2008. – 560 с.

10. Дюков, И. И. Стратегия развития бизнеса. Практический подход [Текст] / И. И. Дюков. – СПб: Питер, 2012. – 236 с.

## References

1. Cheremisin V. T., Nikiforov M. M. The basic directions of realization of the federal law «About power savings...» from 23.11.09 №261-FZ in holding «Russian Railways» [Osnovnye napravlenija realizacii Federal'nogo Zakona «Ob jener-gosberezhenii...» № 261-FZ ot 23.11.09 v holdinge «Rossijskie zheleznye dorogi»]. *Izvestiia Transsiba – The Trans-Siberian Bulletin*, 2010, № 2 (2), pp. 119 – 123.

2. Nikiforov M. M. Target indicators of power savings and increase of power system effectiveness of the traction electrical supply and power consumption for not traction needs [Celevye pokazateli jenergosberezhenija i povyshenija jenergeti-cheskoj jeffektivnosti sistemy tjagovogo jel-ektrosnabzhenija i jelektropotreblenija na netjagovye nuzhdy]. *Izvestiia Transsiba – The Trans-Siberian Bulletin*, 2010, № 3 (3), pp. 110 – 116.

3. Davydov A. I., Nikiforov M. M. Target energy efficiency indicators rod trains [Celevye indikatory povyshenija jenergojeffektivnosti tjagi poezdov]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka – Scientific transport problems Siberia and Far East*, 2013, no. 1, pp. 93 – 95.

4. Misharin A. S., Evseev O. V. Updating of Transport strategy of the Russian Federation for the period till 2030 year [Aktualizacija Transportnoj strategii Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda]. *Transport Rossijskoj Federacii – Transport of the Russian Federation*, 2013, no. 2 (45), pp. 4 – 13.

5. Suprun V. N. Railway power supply – an integral part of an infrastructure complex [Zheleznodorozhnoe jelektrosnabzhenie – neotemlemaja chast' infrastrukt-turnogo kompleksa]. Transportnaja gazeta «Evrazija Vesti» – Transport newspaper «Eurasia Vesti», 29.09.2015 (№ 9). pp. 2 – 3.
6. *Jenergeticheskaja strategija Holdinga «Rossijskie zheleznye dorogi» na period do 2015 goda i na perspektivu do 2030 goda* (Power strategy of «Russian Railways» Holding for the period till 2015 and on prospect till 2030 year): Rasporjazhenie OAO «RZhD» ot 15.12.2011 g. № 2718r / Moscow, 2011, 96 p.
7. Cheremisin V. T., Nikiforov M. M. Evaluating the potential of energy efficiency of the system of traction electric supply [Ocenka potenciala povyshenija jenergeticheskoy jeffektivnosti sistemy tjagovogo jelektrosnabzhenija]. *Izvestiia Transsiba – The Trans-Siberian Bulletin*, 2013, no. 2 (14), pp. 75 – 84.
8. Kashtanov A. L., Nikiforov M. M., Komjakov A. A. Updating of power strategy of «Russian Railways» holding [Aktualizacija jenergeticheskoy strategii holdinga «Rossijskie zheleznye dorogi»]. *Innovacionnye proekty i tehnologii v obrazovanii, promyshlennosti i na transporte: Materialy nauchnoj konferencii* (Innovative projects and technologies in education, industry and Transport: Proceedings of the conference). Omsk, 2015, pp. 141 – 147.
9. Grant R. M. *Sovremennyj strategicheskij analiz* (Modern strategic analysis). SPb.: Piter, 2008, 560 p.
10. Djukov I. I. *Strategija razvitija biznesa. Prakticheskij podhod* (Business development strategy. Practical approach). SPb.: Piter, 2012. 236 p.

УДК 621.391

О. Н. Коваленко

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ХЭРСТА С ПОМОЩЬЮ АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

*Предложена методика прогнозирования коэффициента Хэрста на основе различных способов предсказания. Для выбора метода прогнозирования введены ошибки недооценки и переоценки. Показано, что если не учитывать колебания значений коэффициента Хэрста, используемых для расчета требуемых параметров телекоммуникационной сети железнодорожного транспорта, то для качественного обслуживания поступающего трафика выделенных ресурсов сети будет недостаточно (т. е. ухудшатся показатели QoS) или ресурсы сети будут использоваться неэффективно.*

Проблема обеспечения качества обслуживания (QoS) в современных телекоммуникационных сетях, построенных на базе систем с коммутацией пакетов, актуальна и требует проработки множества задач, одной из которых является задача расчета требуемых параметров сети и сетевых устройств для обслуживания разнородного трафика с заданным качеством. Исследования в области анализа трафика современных сетей с коммутацией пакетов, в том числе сети передачи данных ОАО «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД»), показывают, что трафик данных, в отличие от классического представления трафика пуассоновским потоком, может изменяться в широком диапазоне масштабов времени (обладает свойством самоподобия) [1 – 3].

Основной характеристикой самоподобного трафика является коэффициент Хэрста ( $H$ ). Его значения лежат в пределах от  $0,5 \leq H \leq 1$  [3]. Если  $H = 0,5$ , то процесс не обладает самоподобием, если  $H = 1$ , то данный процесс обладает «жесткой» долгосрочной зависимостью, означающей детерминированный характер процесса.

В самоподобном трафике присутствует некоторое количество достаточно сильных выбросов на фоне относительно низкого среднего уровня. Данное свойство трафика значитель-

но увеличивает задержки и джиттер при его прохождении через сеть даже в случаях, когда средняя интенсивность трафика намного ниже потенциально достижимой скорости передачи в данном канале [1].

Особенно важно учитывать свойство самоподобия трафика при организации каналов сети передачи данных ОАО «РЖД», предназначенных для обмена данными программ управления перевозочным процессом и обеспечения безопасности движения, так как перечисленное программное обеспечение критично ко времени доступа и задержкам.

Однако в большинстве работ, посвященных исследованию свойств самоподобного трафика и расчету основных показателей функционирования телекоммуникационных сетей, значение коэффициента Хэрста считается постоянным, не зависящим от времени параметром. Хотя в отдельных публикациях отмечается, что значение  $H$  зависит от времени суток [4], но затем исследование и расчет параметров сети проводится при среднем показателе коэффициента Хэрста. Данное допущение может привести к ухудшению показателей качества обработки трафика в случае резкого изменения коэффициента Хэрста на малых интервалах времени.

В данной работе предлагается прогнозировать значение коэффициента Хэрста с целью определения основных сетевых параметров, необходимых для обслуживания данного вида трафика с заданным качеством на следующий выбранный интервал времени.

Пусть в результате эксперимента за время наблюдения  $T$  получен ряд значений коэффициента Хэрста, показывающий изменение данного параметра во временной области и состоящий из  $k$ -го числа отсчетов. Необходимо предсказать значение коэффициента Хэрста на следующий отрезок времени. Прогнозирование проведем с помощью следующих методов аналитического прогнозирования: наименьших квадратов; с помощью «простого предсказателя»; авторегрессионного предсказателя 1-го порядка (AR-1); авторегрессионного предсказателя 2-го порядка (AR-2).

При использовании метода с простым предсказателем прогнозируемое значение коэффициента Хэрста ( $H^*$ ) равно значению последнего известного отсчета исходного ряда [5]:

$$H^*(i) = H(i - 1), \quad (1)$$

где  $H(i - 1)$  – последнее известное значение коэффициента Хэрста исходного ряда экспериментальных данных.

Для предсказания по методу наименьших квадратов необходимо знать значения трех предыдущих отсчетов исходного ряда, с помощью которых строится аппроксимирующая прямая и определяется следующее значение коэффициента Хэрста.

Также одной из наиболее часто используемых моделей для прогнозирования является общий линейный процесс (2), при котором анализируемый ряд значений представляется в виде линейной модели, а в качестве объясняющих переменных выступают значения ряда во все прошлые моменты времени [5]:

$$H^*(i) = \alpha_1 H(i - 1) + \alpha_2 H(i - 2) + \dots + \alpha_k H(i - k), \quad (2)$$

где  $H(i - n)$  – значение коэффициента Хэрста исходного ряда на  $n$ -м шаге,  $n = 1, 2, \dots, k$ ;

$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k$  – нормировочные коэффициенты.

Частным случаем (2) является модель авторегрессии 1-го порядка.

Оценка коэффициента Хэрста по методу с авторегрессионным предсказателем 1-го порядка (AR - 1) осуществляется с учетом выражения [5]:

$$H^*(i) = H(i - 1) \cdot r(1), \quad (3)$$

где  $r(1)$  – значение нормированной автокорреляционной функции процесса  $H(k)$  при сдвиге, равном одному отсчету.

Модель с авторегрессионным предсказателем 2-го порядка (AR-2) является частным случаем общего линейного процесса (2) при равенстве нулю всех коэффициентов  $\alpha_k$ , кроме

первых двух. Таким образом, оценку коэффициента Хэрста по методу с авторегрессионным предсказателем второго порядка (AR-2) будем осуществлять с учетом выражения:

$$H^*(i) = H(i-1) \cdot \alpha_1 + H(i-2) \cdot \alpha_2, \quad (4)$$

где коэффициенты  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  вычисляются на основании соотношений:

$$r(1) = \frac{\alpha_1}{1 - \alpha_2}; \quad (5)$$

$$r(2) = \alpha_2 + \frac{\alpha_1^2}{1 - \alpha_2}. \quad (6)$$

В выражении (6)  $r(2)$  – значение нормированной автокорреляционной функции процесса  $H(k)$  при сдвиге, равном двум шагам.

В процессе предсказания возникают ошибки недооценки и переоценки значения коэффициента Хэрста на  $k$ -м отсчете.

Ошибка недооценки определяется как

$$e^+(k) = \begin{cases} e(k), & \text{если } e(k) \geq 0; \\ 0, & \text{если } e(k) < 0; \end{cases} \quad (7)$$

ошибка переоценки –

$$e^-(k) = \begin{cases} |e(k)|, & \text{если } e(k) < 0; \\ 0, & \text{если } e(k) \geq 0, \end{cases} \quad (8)$$

где  $e(k)$  – абсолютная ошибка прогноза,

$$e(k) = H(k) - H^*(k). \quad (9)$$

В выражении (9)  $H(k)$  и  $H^*(k)$  – реальное и предсказанное значения коэффициента Хэрста  $k$ -го отсчета соответственно.

Как показано в источнике [5], при обслуживании нагрузки, обладающей свойством самоподобия, необходимо выделить большее количество ресурсов сети и сетевого оборудования, чем при обработке пуассоновской нагрузки. Причем при линейном изменении коэффициента Хэрста происходит нелинейное изменение требуемых параметров сети. Поэтому ошибка недооценки значения коэффициента Хэрста будет приводить к уменьшению выделяемых на обработку трафика ресурсов (объема буфера, полосы пропускания), а следовательно, к увеличению потерь и ухудшению качества обработки трафика. Ошибка переоценки приводит к излишнему завышению значения параметра Хэрста и отражает избыточное выделение ресурсов.

Таким образом, в качестве оценок качества прогнозирования будем применять коэффициент недооценки

$$D^+ = \frac{M[e^+(k)]}{M[H(k)]} = \frac{\sum_k e^+(k)}{\sum_k H(k)} \quad (10)$$

и коэффициент переоценки

$$D^- = \frac{M[e^-(k)]}{M[H(k)]} = \frac{\sum_k e^-(k)}{\sum_k H(k)}. \quad (11)$$

Чем ближе прогностические оценки параметра Хэрста к действительным значениям, тем ближе к нулю рассматриваемые оценки  $D^+$  и  $D^-$ . При этом в первую очередь следует выбирать тот метод предсказания, для которого коэффициент недооценки является наименьшим, так как именно этот коэффициент оценивает ухудшение качества обслуживания трафика.

На рисунке 1 приведены примеры численного прогнозирования коэффициента Хэрста и графики абсолютной ошибки (а, в – результат и ошибка прогнозирования, полученные с помощью «простого предсказателя»; б, г – методом наименьших квадратов; д, ж – с помощью AR-1; е, з – с помощью AR-2). Для исследования взяты результаты исследования изменения параметра Хэрста во времени, приведенные в статье [4].

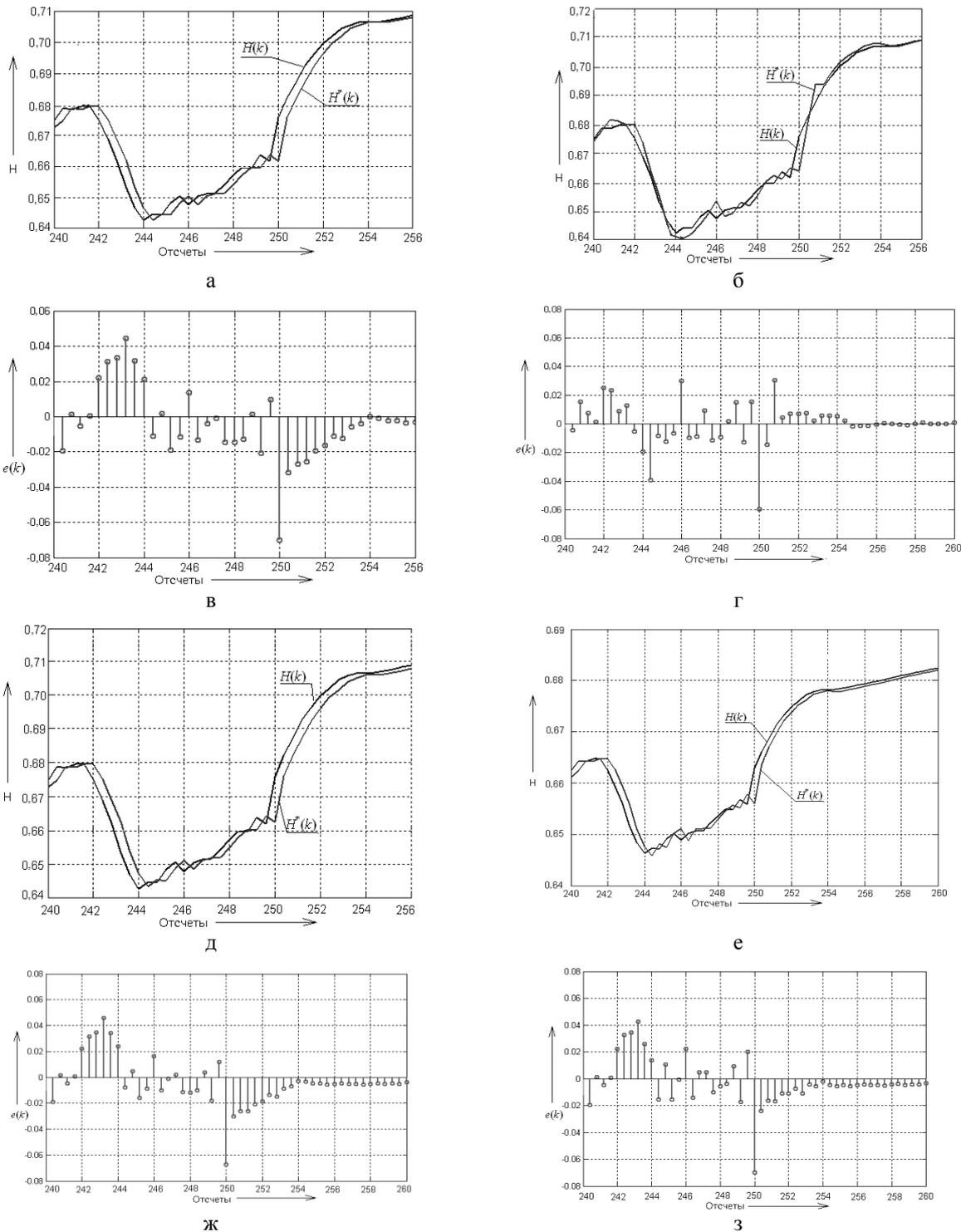


Рисунок 1 – Результаты прогнозирования параметра Хэрста

Проведенное математическое моделирование прогнозирования коэффициента Хэрста выбранными методами дало результаты, сведенные в таблицу.

Оценка предсказания параметра Хэрста

| Метод предсказания         | D <sup>+</sup> | D <sup>-</sup> |
|----------------------------|----------------|----------------|
| «Простое предсказание»     | 0,0016         | 0,0017         |
| Метод наименьших квадратов | 0,0014         | 0,0015         |
| AR-1                       | 0,0019         | 0,0017         |
| AR-2                       | 0,0013         | 0,0012         |

Как видно из данных таблицы, наименьшую ошибку недооценки и переоценки показывает наиболее сложный из выбранных методов предсказания – метод с авторегрессионным предсказателем второго порядка.

Для оценки эффективности выделения ресурсов сети на основе предсказанных значений коэффициента Хэрста рассчитаем относительную ошибку в расчете параметров сети (канального ресурса, объема буфера) и показателей качества обслуживания (время ожидания и вероятность потерь) при использовании предсказанного значения  $H$  по сравнению с определением перечисленных показателей по среднему значению коэффициента Хэрста  $H_{cp} = 0,65$  (рисунок 2).

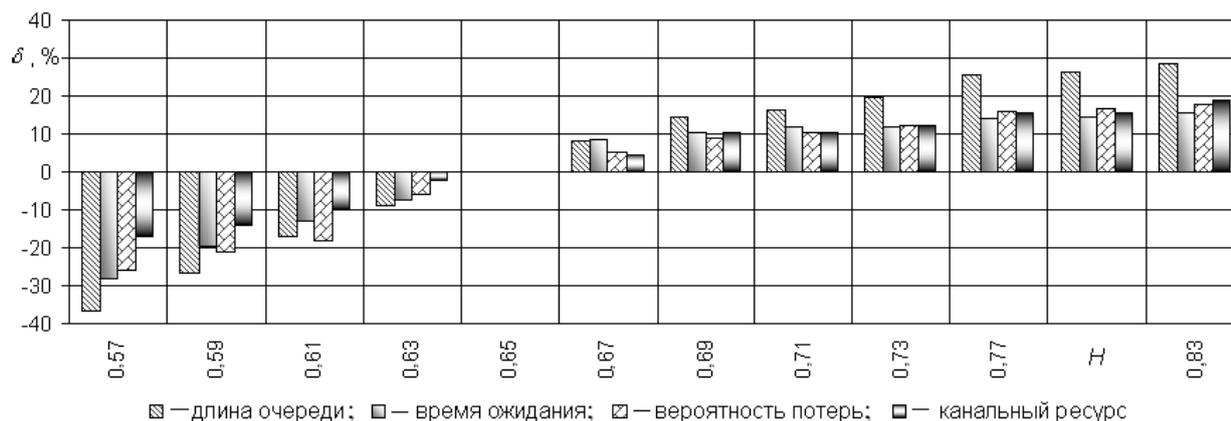


Рисунок 2 – Зависимость относительной ошибки в расчете параметров телекоммуникационной сети от коэффициента Хэрста

Расчет относительной ошибки проводится по формуле:

$$\delta = \frac{n_{i\text{cp}} - n_i}{n_{i\text{cp}}} \times 100 \%, \quad (12)$$

где  $n_{i\text{cp}}$  –  $i$ -й показатель качества обработки, рассчитанный по среднему значению коэффициента Хэрста;

$n_i$  –  $i$ -й показатель качества обработки, рассчитанный по предсказанному значению коэффициента Хэрста.

Положительная ошибка показывает, что выделенных ресурсов сети недостаточно для качественного обслуживания поступающей нагрузки (о чем свидетельствует превышение вероятности потерь и времени ожидания над показателями, рассчитанными по среднему значению параметра Хэрста).

Отрицательная относительная ошибка показывает процент недоиспользования ресурсов сети. Предсказывая уменьшение значения коэффициента Хэрста, можно увеличить количество одновременно обслуживаемых соединений с сохранением качества обработки пакетов.

Таким образом, в данной работе предлагается обслуживать трафик сети передачи данных ОАО «РЖД» по следующему алгоритму.

1. Расчет коэффициента Хэрста в текущий интервал времени.
2. Предсказание значения коэффициента Хэрста на следующий интервал времени.
3. Разделение трафика по приоритетам.
4. Определение с учетом предсказанного значения на следующий интервал времени объема буфера коммутационного узла и канального ресурса, необходимого для обслуживания с заданным качеством трафика рассматриваемого приоритета.
5. Обслуживание трафика в соответствии с приоритетами.

Применение предлагаемой в работе методики позволит повысить безопасность движения поездов за счет гарантированного выделения ресурсов сети (что особенно важно в условиях ограниченной полосы пропускания каналов СПД) абонентам оперативно-технологической связи, а также служебным программам, связанным с обеспечением информационного обмена систем управления процессами перевозок (УПП) без значительного ухудшения качества обслуживания менее приоритетных видов трафика.

### Список литературы

1. Буранова, М. А. Исследование статистических характеристик самоподобного телекоммуникационного трафика [Текст] / М. А. Буранова // *Инфокоммуникационные технологии*. – 2012. – Т. 10. – № 4. – С. 35 – 41.
2. Агеев, Д. В. Методика определения параметров потоков на разных участках мультисервисной телекоммуникационной сети с учетом эффекта самоподобия [Текст] / Д. В. Агеев, А. А. Игнатенко, А. Н. Копылев // *Проблемы телекоммуникаций*. – Харьков. – 2011. – № 3 (5). – С. 18 – 37.
3. Коваленко, О. Н. Влияние самоподобия на вероятностно-временные характеристики функционирования мультисервисной сети [Текст] / О. Н. Коваленко // *Вестник РГУПС* / Ростовский гос. ун-т путей сообщения. – Ростов-на-Дону. – 2008. – № 1 (29). – С. 42 – 44.
4. Бычков, Е. Д. Исследование коэффициента Хэрста на временном интервале [Текст] / Е. Д. Бычков, О. Н. Коваленко // *Материалы IX междунар. конф. «АПЭП-2008»* / Новосибирский гос. техн. ун-т. – Новосибирск, 2008. – Т. 4. – С. 88 – 90.
5. Петров, В. В. Структура телетрафика и алгоритм обеспечения качества обслуживания при влиянии эффекта самоподобия [Текст]: дис... канд. техн. наук: 05.12.13 / Петров Виталий Валерьевич. – М., 2004. – 199 с.

### References

1. Buranova M. A. Study of statistical properties of self-similar telecommunications traffic [Issledovanie statisticheskikh harakteristik samopodobnogo telekommunikacionnogo trafika]. *Infokommunikacionnye tehnologii – Info-communication technologies*, 2012, no. 4, vol. 10, pp. 35 – 41.
2. Ageev D. V., Ignatenko A. A., Kopylev A. N. Method of determining flow parameters in different parts of multiservice telecommunication networks, taking into account the effect of self-similarity [Metodika opredelenija parametrov potokov na raznyh uchastkah mul'tiservisnoj telekommunikacionnoj seti s uchetom jeffekta samopodobija]. *Problemy telekommunikacij – Problems of telecommunications*, 2011, no. 3 (5), pp 18 – 37.
3. Kovalenko O. N. The impact of self-similarity on probability-time characteristics of the functioning of multiservice networks [Vlijanie samopodobija na verojatnostno-vremennye harakteristiki funkcionirovanija mul'tiservisnoj seti]. *Vestnik RGUPS – Bulletin of the RGUPS*, Rostov-on-don, 2008, no. 1 (29), pp. 42 – 44.
4. Bychkov E. D., Kovalenko O. N. Study of the coefficient Harsta in the time interval [Issledovanie kojefficienta Hjersta na vremennom intervale]. *Materialy IX mezhdunarodnoj konferencii APJeP* (Proceedings of the IX international conference APAP). Novosibirsk, 2008, no. 4, pp. 88 – 90.
5. Petrov V. V. *Struktura teletrafika i algoritm obespechenija kachestva obsluzhivaniya pri vlijanii jeffekta samopodobija* (Structure of teletraffic and algorithm ensure the quality of service at the effect of self-similarity). Ph. D. thesis, Moscow, 2004, 199 p.

УДК 625.143

Н. И. Карпушенко, А. В. Быстров, П. С. Труханов

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМ РАСХОДА МАТЕРИАЛОВ НА ТЕКУЩЕЕ СОДЕРЖАНИЕ ПУТИ

*Приведены методика и алгоритм определения норм расхода материалов на текущее содержание пути в зависимости от грузонапряженности, пропущенного тоннажа, плана и профиля участков пути, осевых нагрузок подвижного состава. Нормативы разработаны на основе анализа существующих нормативных документов, статистических данных из форм первичного учета ПУ-74 расхода материалов, годовых отчетов линейных участков и других источников. В зависимости от условий эксплуатации нормативы определяются по аналитическим зависимостям и корректирующим коэффициентам.*

Многоотраслевое хозяйство пути требует для обеспечения нормальной работы хорошо организованного и бесперебойного материально-технического снабжения, т. е. удовлетворения нужд технического обслуживания пути в материалах, изделиях, запасных частях. Большое значение, особенно для такого крупного потребителя, как путевое хозяйство, имеет нормирование расхода материалов на текущее содержание пути и производственные запасы, хранящиеся на складах. При этом существенное значение имеет соблюдение правильной их комплектации.

Нормы расхода материалов на отдельные виды работ и текущее содержание 1 км пути в целом устанавливаются ОАО «РЖД». По мере изменения конструкции пути, совершенствования технологии работ, улучшения качества применяемых материалов эти нормы пересматриваются.

Ретроспективный анализ нормативов затрат труда и материалов на текущее содержание пути показал, что они эволюционировали вслед за изменением конструкции пути и условий эксплуатации.

По состоянию на 2014 г. общая протяженность главного пути ОАО «РЖД» составляла 124,6 тыс. км, в том числе:

86,7 тыс. км – протяженность бесстыкового пути (70 % от развернутой длины главных путей);

31 тыс. км – протяженность звеньевого пути на деревянных шпалах (24,9 % от развернутой длины главных путей);

6,9 тыс. км (5,5 %) – протяженность звеньевого пути на железобетонных шпалах;

32,8 тыс. км протяженности главного пути с железобетонными шпалами уложено с пружинными скреплениями [1].

Цели нашей работы:

– актуализация нормативной базы в хозяйстве пути;  
– научное обоснование перечня и объемов выполнения работ на текущем содержании пути;

– оптимизация расхода материалов на текущее содержание пути.

Обоснование норм расхода материалов на текущее содержание железнодорожного пути, поправочных коэффициентов к нормам ведется в зависимости от класса, особенностей конструкции пути, наработанного тоннажа, плана и профиля пути и других эксплуатационных условий.

*Эталонные километры пути.* Для определения расхода материалов на текущее содержание пути в качестве типовых конструкций верхнего строения пути и условий эксплуатации принимаются такие, которые имеют достаточное распространение и не требуют усиления и дополнительных затрат при текущем содержании пути. В связи с этим вводится понятие эталонного километра и стрелочного перевода.

Эталонный километр для бесстыкового пути: бесстыковой путь, рельсы типа Р-65 неограниченной длины, шпалы железобетонные, скрепления типа КБ, балласт щебеночный без

разделительного слоя; участок пути, оборудованный автоблокировкой, расположенный на площадках и уклонах не круче 8 ‰ в прямых или кривых радиусом более 800 м; грузонапряженность – 26 – 50 млн ткм брутто/км в год; пропущенный тоннаж – 201 – 400 млн т брутто; скорость движения поездов – 101 – 120 км/ч для пассажирских, 90 км/ч – для грузовых.

Эталонный километр для звеньевоего пути: звеньевой путь, рельсы типа Р-65 длиной 25 м, шпалы деревянные, скрепления типа ДО, балласт щебеночный без разделительного слоя; участок пути, оборудованный автоблокировкой, расположенный на площадках и уклонах не круче 8 ‰ в прямых или кривых радиусом более 800 м; грузонапряженность – 26 – 50 млн ткм брутто/км в год; пропущенный тоннаж – 201 – 400 млн т брутто; скорость движения поездов – 101 – 120 км/ч для пассажирских, 90 км/ч – для грузовых [3].

*Сбор данных по расходу материалов на текущее содержание пути.* Для определения норм расхода материалов на текущее содержание пути при участковой системе ведения путевого хозяйства анализировались существующие нормативные документы [1, 2], фактические данные по расходу материалов на Западно-Сибирской дирекции инфраструктуры и объемы работ и затраты труда на смену элементов верхнего строения пути [2].

В таблице 1 приведены отчетные данные по расходу материалов на текущее содержание пути по Западно-Сибирской дирекции инфраструктуры за 2014 г. Из данных таблицы следует, что на текущее содержание 1584,4 км звеньевоего пути в 2014 г. приобретено материалов на сумму 232259 тыс. р., из них 159428 тыс. р. – 68,4 % – на замену негодных деревянных шпал. Стоимость материалов, израсходованных на текущее содержание 1 км звеньевоего пути, составила 146,5 тыс. р.

При текущем содержании бесстыкового пути израсходовано материалов на сумму 121092 тыс. р., из них 38044 тыс. р. на приобретение резиновых подрельсовых и нащпальных прокладок, что составило 31,4 % от всех затрат на материалы. Стоимость материалов на текущее содержание 1 км бесстыкового пути составила 22 тыс. р., что в 6,66 раза меньше, чем стоимость материалов на содержание звеньевоего пути с деревянными шпалами.

Другим источником информации о расходе материалов на текущее содержание пути явились данные первичного учета в форме ПУ-74 в линейных участках.

В таблице 2 приведены данные об объемах выполненных работ и затратах труда на смену элементов верхнего строения пути (ВСП) при текущем содержании 1 км пути в течение года. На смену элементов ВСП звеньевоего пути эталонного километра затрачивается 187 человеко-часов, из них на 10 основных работ затрачено 85 %.

На смену деревянных шпал затраты составляют 121,1 человеко-часа, или 65 % всех затрат.

Также в таблице 2 приведены данные об объемах работ и затратах труда на смену элементов ВСП эталонного километра бесстыкового пути. При этом на выполнение 10 основных работ трудозатраты составили 81 %. Наиболее затратными являются работы по смене резиновых подрельсовых и нащпальных прокладок, которые составляют 42,53 человеко-часа, или 38 % от всех затрат на смену элементов. Затраты труда на смену элементов ВСП бесстыкового пути в 1,68 раза меньше, чем на содержание звеньевоего пути.

Сводные данные о расходе материалов на текущее содержание звеньевоего и бесстыкового пути, полученные из различных источников, приведены в таблицах 3 и 4. Обработка данных форм первичного учета ПУ-74 с участков протяженностью 100 км с эталонными условиями эксплуатации позволила сформировать базовые значения величин расхода материалов ВСП для эталонных километров, приведенные в таблицах 3 и 4.

Базовые значения расхода по всей номенклатуре материалов верхнего строения пути для эталонных километров удовлетворительно корреспондируются с нормативными документами и осредненными отчетными данными по всей Западно-Сибирской дирекции инфраструктуры, приведенными в таблице 3.

# Путь и искусственные сооружения

Таблица 1 – Расход материалов на текущее содержание пути по Западно-Сибирской дирекции инфраструктуры

| Наименование элементов верхнего строения пути       | Звеньевой путь (1584,4 км) |        |          |       |                 |          |        | Бесстыковой путь (5499,7 км) |        |          |       |                 |          |        |
|---|----------------------------|--------|----------|-------|-----------------|----------|--------|------------------------------|--------|----------|-------|-----------------|----------|--------|
|   | новых                      | с/г    | НОВЫХ    | с/г   | НОВЫХ           | с/г      | ВсЕ-ГО | новых                        | с/г    | НОВЫХ    | с/г   | НОВЫХ           | с/г      | ВсЕ-ГО |
|   | стоимость, тыс р.          |        | масса, т |       | количество, шт. |          | шт./км | стоимость, тыс. р.           |        | масса, т |       | количество, шт. |          | шт./км |
| 1   | 2                          | 3      | 4        | 5     | 6               | 7        | 8      | 9                            | 10     | 11       | 12    | 13              | 14       | 15     |
| Накладки двухголовые, тн                            | 1149,4                     | 140    | 58,4     | 37,5  | 1982,8          | 1271,0   | 3      | 1994,9                       | 242,9  | 101,5    | 65,08 | 3441,3          | 2206,0   | 2      |
| Болты стыковые с гайками, тн                        | 941,8                      | 31,5   | 25,4     | 4,4   | 24516,2         | 4326,4   | 19     | 1634,7                       | 54,8   | 44,2     | 7,809 | 42549,7         | 7508,8   | 10     |
| Шайбы пружинные для стыковых болтов, тн             | 184,6                      | 0      | 4,4      | 0     | 49993,7         | 0        | 32     | 320,5                        | 0      | 7,8      | 0     | 86768,0         | 0        | 16     |
| Подкладки КБ, тн                                    |                            |        |          |       |                 |          |        | 1912                         | 363,2  | 65       | 65    | 9285,7          | 9285,7   | 4      |
| Подкладки ДН-6-65, тн                               | 1447,7                     | 444,3  | 65,0     | 105,0 | 8485,6          | 13707,6  | 15     |                              |        |          |       |                 |          |        |
| Клеммы жесткие, тн                                  |                            |        |          |       |                 |          |        | 1106,3                       | 187,7  | 39,1     | 35    | 63194,2         | 56450,7  | 22     |
| Болты клеммные с гайками, тн                        |                            |        |          |       |                 |          |        | 2186,5                       | 207,7  | 58,7     | 29,39 | 124780,5        | 62390,2  | 35     |
| Шайбы пружинные для клеммных и закладных болтов, тн |                            |        |          |       |                 |          |        | 495,1                        | 141,1  | 9,7      | 14,69 | 81627,2         | 122440,8 | 38     |
| Болты закладные с гайками, тн                       |                            |        |          |       |                 |          |        | 1779,8                       | 202,9  | 50       | 30    | 65703,0         | 39421,8  | 20     |
| Втулки изолирующие, тн/шт.                          |                            |        |          |       |                 |          |        | 158,6                        | 0      |          |       | 30000,0         | 0        | 6      |
| Прокладки под подкладку (на ж/б шпалы), тн/шт.      |                            |        |          |       |                 |          |        | 12417                        | 41,3   |          |       | 89793,5         | 29931,2  | 22     |
| Прокладки под подкладку (на дер. шпалы), тн/шт.     | 5316,3                     | 1275,9 |          |       | 49293,8         | 118305,0 | 106    |                              |        |          |       |                 |          |        |
| Прокладки под рельс КБ ЦП-143, тн/шт.               |                            |        |          |       |                 |          |        | 25089                        | 496,7  |          |       | 391811          | 77578,5  | 86     |
| Костыли, тн   | 1775,1                     | 181,6  | 65,0     | 35,0  | 171052,6        | 92105,3  | 167    |                              |        |          |       |                 |          |        |
| Противоугоны, тн                                    | 0,00                       | 46,9   | 0        | 7,0   | 0               | 5147,1   | 4      |                              |        |          |       |                 |          |        |
| Шпалы деревянные, тн/шт.                            | 102460                     | 56986  |          |       | 86757,0         | 101545,1 | 119    |                              |        |          |       |                 |          |        |
| Шпалы железобетонные, тн/шт.                        |                            |        |          |       |                 |          |        | 0                            | 3173,3 |          |       | 0               | 8979,3   | 2      |

# Путь и искусственные сооружения

Окончание таблицы 1

| 1  | 2                        | 3     | 4 | 5    | 6       | 7      | 8                       | 9              | 10    | 11 | 12   | 13      | 14     | 15 |
|--|--------------------------|-------|---|------|---------|--------|-------------------------|----------------|-------|----|------|---------|--------|----|
| Металло-композитные и композитные накладки для изостыков, комплектов | 8949,6                   | 0     |   |      | 1478,8  | 0      | 1                       |                |       |    |      |         |        |    |
| Балласт (щебень), тыс. м <sup>3</sup>                                | 11361                    | 0     |   |      | 27508,1 | 0      | 18                      | 32459          | 0     |    |      | 78594,4 | 0      | 15 |
| Рельсы, тн   | 0                        | 39463 | 0 | 3680 | 0       | 2277,1 | 2                       | 0              | 34245 | 0  | 3193 | 0       | 3952,0 | 1  |
| Соединители СРСРП  | 2,6                      | 0     |   |      | 6599,2  | 0      | 5                       | 4,5            | 0     |    |      | 11453,3 | 0      | 3  |
| Тарельчатые шайбы, тн/шт.  | 101,3                    | 0,0   |   |      | 5999,2  | 0      | 4                       | 175,8          | 0     |    |      | 10412,1 | 0      | 2  |
| Суммарная стоимость  | 133690+98569=<br>=232259 |       |   |      |         |        | 81735+39357=<br>=121092 |                |       |    |      |         |        |    |
| Стоимость материалов на 1 км – 146,5                                 |                          |       |   |      |         |        |                         | на 1 км – 22,0 |       |    |      |         |        |    |

Таблица 2 – Объемы работ и затраты труда на смену элементов верхнего строения эталонного километра звеньевой и бесстыковой пути

| № п/п   | Наименование работы   | Единица измерения      | Норма | Количество измерителей всего на 1 км | Объем выполненных работ (шт. на 1 км в год) | Трудозатраты на 1 км, человеко-часов |
|---|---|------------------------|-------|--------------------------------------|---|--------------------------------------|
| 1   | 2   | 3                      | 4     | 5                                    | 6   | 7                                    |
| Звеньевой путь, грузонапряженность – 26 – 50 млн ткм брутто/км в год, тоннаж – 201 – 400 млн т брутто, протяженность – 301 км, трудозатраты – 187 чел. час/км   |   |                        |       |                                      |   |                                      |
| 1   | Смена деревянных шпал   | Шпала                  | 1,514 | 1840                                 | 80,00                                       | 121,12                               |
| 2   | Вырезка балласта из шпальных ящиков вручную   | 10 м пути              | 2,969 | 100                                  | 33,01                                       | 9,80                                 |
| 3   | Прикрепление рельсов к шпалам костылями   | Звено                  | 3,200 | 40                                   | 2,07  | 6,63                                 |
| 4   | Засыпка шпальных ящиков балластом вручную   | 10 м пути              | 1,699 | 100                                  | 32,96                                       | 5,60                                 |
| 5   | Смена рельсов типов Р75 и Р65 длиной 25 м при смешанном костыльном скреплении с применением двух съемных порталных кранов (одиночная) | Рельс                  | 3,630 | 80                                   | 1,32  | 4,79                                 |
| 6   | Смена подкладок при смешанном костыльном скреплении (одиночная)   | 10 подкладок           | 1,490 | 362                                  | 22,08                                       | 3,29                                 |
| 7   | Смена рельсов типов Р75 и Р65 при костыльном скреплении (одиночная)   | Рельс                  | 3,870 | 80                                   | 0,76  | 2,92                                 |
| 8   | Смена изолирующих прокладок в изолирующем стыке   | Изолирующий стык       | 1,210 | 2,2                                  | 2,20  | 2,66                                 |
| 9   | Смена стыковых накладок (одиночная).  | 10 стыковых нити       | 7,220 | 8                                    | 3,16  | 2,28                                 |
| 10  | Сверление болтовых отверстий в рельсах электрическими рельсосверлильными станками   | 10 отверстий           | 2,430 | 32                                   | 7,00  | 1,70                                 |
| Итого   |   |                        |       |                                      |   | 160,79                               |
| Бесстыковой путь, грузонапряженность – 26 – 50 млн ткм брутто/км в год, тоннаж – 201 – 400 млн т брутто, протяженность – 300 км, трудозатраты – 111 чел. час/км |   |                        |       |                                      |   |                                      |
| 1   | Смена резиновых (изолирующих) прокладок под подкладками при скреплении КБ (одиночная)   | 10 резиновых прокладок | 4,680 | 368                                  | 60,00                                       | 0,016                                |

# Путь и искусственные сооружения

Окончание таблицы 2

| 1     | 2   | 3                      | 4     | 5    | 6      | 7     |
|-------|---|------------------------|-------|------|--------|-------|
| 2     | Смена подрельсовых (амортизационных) прокладок при раздельном скреплении                  | 10 резиновых прокладок | 1,070 | 368  | 135,00 | 0,037 |
| 3     | Смена изолирующих прокладок в изолирующем стыке   | Изолирующий стык       | 2,180 | 4,4  | 4,40   | 1,000 |
| 4     | Смена рельсов типов Р75 и Р65 при раздельном скреплении (одиночная)                       | Рельс                  | 4,980 | 160  | 1,67   | 0,010 |
| 5     | Вырезка балласта из шпальных ящиков вручную   | 10 м пути              | 3,083 | 100  | 22,14  | 0,022 |
| 6     | Смена железобетонных шпал (одиночная) на щебеночном балласте при раздельном скреплении КБ | Шпала                  | 2,860 | 1840 | 2,00   | 0,001 |
| 7     | Смена подкладок при раздельном скреплении (одиночная)                                     | Подкладка              | 0,605 | 368  | 9,00   | 0,024 |
| 8     | Засыпка шпальных ящиков балластом вручную   | 10 м пути              | 2,282 | 100  | 22,14  | 0,022 |
| 9     | Смена изолирующих втулок в изолирующем стыке  | Изолирующий стык       | 0,683 | 2,2  | 6,00   | 2,727 |
| 10    | Смена клеммных болтов (одиночная)   | 10 клеммных болтов     | 0,738 | 736  | 35,00  | 0,005 |
| Итого |   |                        |       |      |        | 90,15 |

Таблица 3 – Сводные данные о расходе материалов на текущее содержание 1 км звеньевое пути

| Наименование материалов и изделий                       | Ед. изм.       | Согласно указанию МПС России от 29.11.1997 № С-1386у |     |     | Осредненные данные по Западно-Сибирской дирекции инфраструктуры | Базовые значения для эталонных километров | Параметры регрессионной зависимости $H_3 = a + b\Gamma + c\Gamma$ |       |        |
|---|----------------|--|-----|-----|---|---|---|-------|--------|
|   |                | классы путей   |     |     |   |   | a   | b     | c      |
|   |                | 1-2  | 3   | 4-5 |   |   |   |       |        |
| Накладки двухголовые                                    | шт.            | 3  | 2   | 2   | 3   | 3   | 0,83  | 0,036 | 0,003  |
| Болты стыковые с гайками                                | шт.            | 17   | 12  | 9   | 19  | 19  | 5,24  | 0,230 | 0,017  |
| Шайбы пружинные для стыковых болтов                     | шт.            | 17   | 12  | 9   | 32  | 32  | 8,81  | 0,323 | 0,029  |
| Пружины тарельчатые для рельсовых стыков                | шт.            | 10   | 7   | 5   | 4   | 4   | 1,10  | 0,048 | 0,004  |
| Подкладки ДН  | шт.            | 10   | 7   | 5   | 15  | 22  | 6,07  | 0,263 | 0,020  |
| Прокладки резиновые под подкладки                       | шт.            | 102  | 71  | 51  | 106   | 106                                       | 29,20   | 1,270 | 0,095  |
| Костыли   | шт.            | 284  | 199 | 142 | 167   | 167                                       | 46  | 2,00  | 0,150  |
| Противоугоны пружинные                                  | шт.            | 110  | 77  | 55  | 120   | 120                                       | 33,05   | 1,44  | 0,108  |
| Шпалы деревянные  | шт.            | 50   | 35  | 25  | 119   | 90  | 24,79   | 1,08  | 0,081  |
| Балласт щебеночный                                      | м <sup>3</sup> | 17   | 17  | 17  | 18  | 33  | 9,09  | 0,33  | 0,030  |
| Металлокомпозитные и композитные накладки для изостыков | компл.         | -  | -   | -   | 1   | 1   | 0,27  | 0,012 | 0,0009 |
| Рельсы  | шт.            | -  | -   | -   | 2   | 2   | 0,55  | 0,024 | 0,0018 |

Таблица 4 – Сводные данные о расходе материалов на текущее содержание 1 км бесстыкового пути

| Наименование материалов и изделий                            | Ед. изм.       | Согласно указанию МПС России от 29.11.1997 № С-1386у |     |     | Осредненные данные по Западно-Сибирской дирекции инфраструктуры | Базовые значения для эталонных километров | Параметры регрессионной зависимости $H_6 = a + b\Gamma + cT$ |       |       |
|--|----------------|--|-----|-----|---|---|--|-------|-------|
|  |                | классы путей   |     |     |   |   | a  | b     | c     |
|  |                | 1-2  | 3   | 4-5 |   |   |  |       |       |
| Накладки двухголовые   | шт.            | 1  | 1   | 1   | 2   | 1   | 0,30   | 0,011 | 0,001 |
| Болты стыковые с гайками                                     | шт.            | 3  | 2   | 1   | 10  | 10  | 2,96   | 0,110 | 0,009 |
| Шайбы пружинные для стыковых болтов                          | шт.            | 4  | 2   | 2   | 16  | 16  | 4,74   | 0,184 | 0,014 |
| Подкладки КБ   | шт.            | 9  | 6   | 5   | 9   | 9   | 2,67   | 0,103 | 0,008 |
| Клеммы жесткие   | шт.            | 4  | 3   | 2   | 22  | 16  | 4,74   | 0,184 | 0,014 |
| Болты клеммные с гайками                                     | шт.            | 47   | 32  | 23  | 35  | 35  | 10,37  | 0,402 | 0,031 |
| Шайбы пружинные двухвитковые для клеммных и закладных болтов | шт.            | 232  | 162 | 117 | 38  | 38  | 11,26  | 0,436 | 0,034 |
| Болты закладные с гайками                                    | шт.            | 40   | 28  | 20  | 20  | 20  | 5,93   | 0,230 | 0,018 |
| Втулка изолирующая   | шт.            | 113  | 79  | 57  | 6   | 6   | 1,78   | 0,069 | 0,005 |
| Прокладки под рельс из резины для скрепления КБ              | шт.            | 260  | 182 | 130 | 86  | 135                                       | 40,0   | 1,550 | 0,120 |
| Прокладки резиновые под подкладки                            | шт.            | 129  | 90  | 65  | 22  | 60  | 17,78  | 0,689 | 0,053 |
| Шпалы железобетонные   | шт.            | 3  | 2   | 2   | 2   | 2   | 0,59   | 0,023 | 0,002 |
| Балласт щебеночный   | м <sup>3</sup> | 17   | 17  | 17  | 15  | 22  | 6,52   | 0,250 | 0,020 |
| Рельсы   | шт.            | -  | -   | -   | 1   | 1   | 0,30   | 0,011 | 0,001 |

Для условий эксплуатации, отличных от эталонных, расход материалов верхнего строения пути определим также из форм первичного учета ПУ-74, но при других интервалах грузонапряженности и пропущенного тоннажа с участков протяженностью 100 км. Результаты статистической обработки и линейной аппроксимации данных о расходе деревянных шпал и резиновых прокладок скрепления КБ на текущее содержание пути в зависимости от грузонапряженности и пропущенного тоннажа приведены для примера в таблицах 5 и 6 и на рисунках 1 и 2.

Таблица 5 – Фактические данные о расходе материалов (деревянных шпал) на текущее содержание одного километра звеньевой пути, шт./км

| Группа пути | Грузонапряженность, млн ткм брутто/км в год | Звеньевой путь, рельсы типа Р-65, скрепления типа ДО, деревянные шпалы, балласт щебеночный |           |           |           |            |
|-------------|---|--|-----------|-----------|-----------|------------|
|             |   | пропущенный тоннаж, млн ткм брутто   |           |           |           |            |
|             |   | 0 – 200  | 201 – 400 | 401 – 600 | 601 – 800 | 801 – 1000 |
| А           | Более 80                                    |  | 157       |           |           |            |
| Б           | 51 – 80                                     |  | 120       |           |           |            |
| В           | 26 – 50                                     | 74   | 90        | 106       | 122       | 138        |
| Г           | 11 – 25                                     |  | 68        |           |           |            |
| Д           | 6 – 10                                      |  | 57        |           |           |            |
| Е           | 5 и менее                                   |  | 52        |           |           |            |

*Алгоритм определения норм расхода материалов.* На основе полученных путем регрессионного анализа данных с применением стандартной программы на ЭВМ найдены уравнения норм расхода материалов ВСП на текущее содержание пути в зависимости от грузонапряженности участка и пропущенного тоннажа (для неэталонных условий эксплуатации):

$$H_M = a + bG + cT,$$

здесь  $G$  – грузонапряженность участка пути, млн ткм брутто/км в год;

$T$  – наработанный тоннаж, млн т брутто;

$a, b, c$  – эмпирические параметры уравнений.

Таблица 6 – Фактические данные о расходе материалов (резиновых прокладок) на текущее содержание одного километра бесстыкового пути, шт./км

| Группа пути | Грузонапряженность, млн ткм брутто/км в год | Бесстыковой путь, рельсы типа Р-65, скрепления типа КБ, железобетонные шпалы, балласт щебеночный |           |           |           |            |
|-------------|---|--|-----------|-----------|-----------|------------|
|             |   | пропущенный тоннаж, млн ткм брутто   |           |           |           |            |
|             |   | 0 – 200  | 201 – 400 | 401 – 600 | 601 – 800 | 801 – 1000 |
| А           | Более 80                                    |  | 231       |           |           |            |
| Б           | 51 – 80                                     |  | 178       |           |           |            |
| В           | 26 – 50                                     | 111  | 135       | 159       | 183       | 207        |
| Г           | 11 – 25                                     |  | 104       |           |           |            |
| Д           | 6 – 10                                      |  | 88        |           |           |            |
| Е           | 5 и менее                                   |  | 80        |           |           |            |

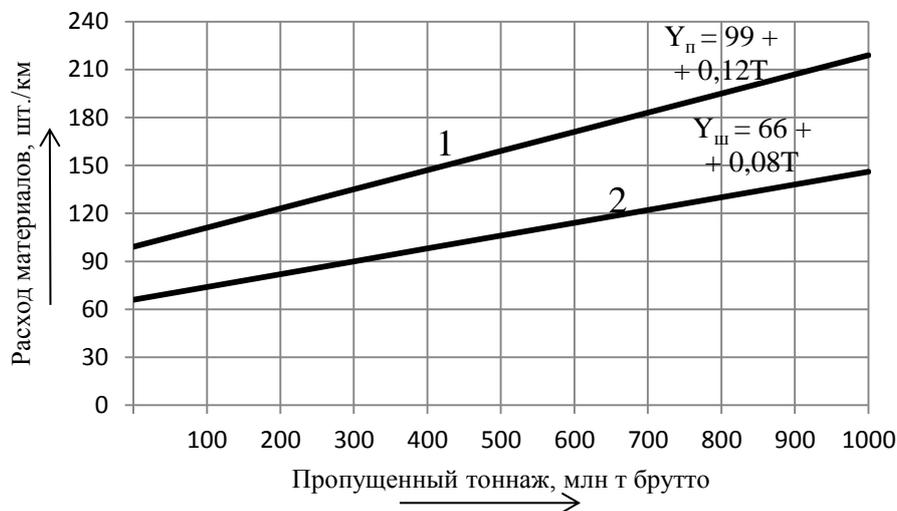


Рисунок 1 – Графики зависимости расхода материалов на текущее содержание пути от пропущенного тоннажа: 1 – резиновые прокладки скрепления КБ; 2 – деревянные шпалы

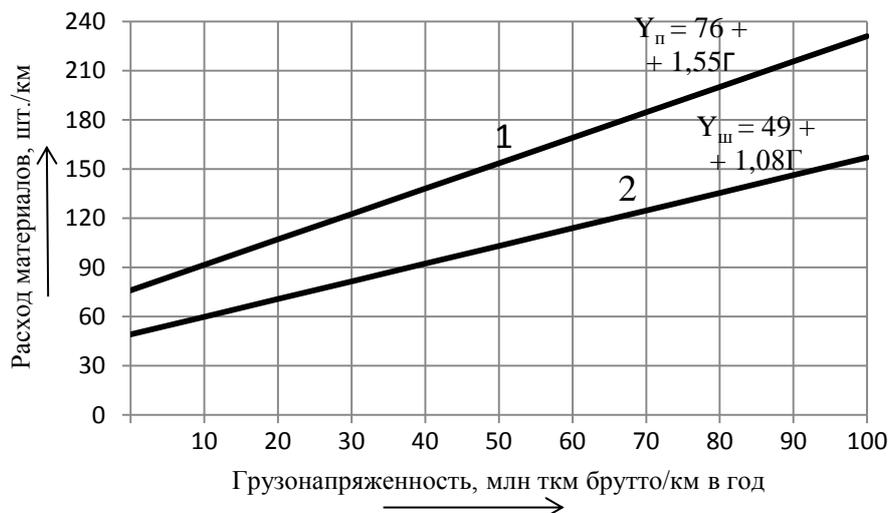


Рисунок 2 – Графики зависимости расхода материалов на текущее содержание пути от грузонапряженности: 1 – резиновые прокладки скрепления КБ; 2 – деревянные шпалы

Параметры регрессионной зависимости норм расхода всей номенклатуры материалов на текущее содержание звеньевое и бесстыкового пути приведены в таблице 3.

Расход материалов ВСП и затраты труда на их смену существенно зависят от плана и профиля участка пути и средней осевой нагрузки обращающегося подвижного состава.

Корректирующие коэффициенты к нормам расхода материалов ВСП в зависимости от плана и профиля пути приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Корректирующие коэффициенты к нормам расхода материалов в зависимости от плана и продольного профиля пути

| План и продольный профиль пути       |             | Корректирующие коэффициенты в зависимости от конструкции пути |           |
|--------------------------------------|-------------|---|-----------|
|                                      |             | бесстыковая   | звеньевая |
| Прямые и кривые радиусом более 800 м |             | С уклоном до 8 ‰  | 1,00      |
|                                      |             | С уклоном свыше 8 ‰   | 1,05      |
| Кривые радиусом, м                   | 601 – 800   | С уклоном до 8 ‰  | 1,10      |
|                                      |             | С уклоном свыше 8 ‰   | 1,20      |
|                                      | 401 – 600   | С уклоном до 8 ‰  | 1,15      |
|                                      |             | С уклоном свыше 8 ‰   | 1,25      |
|                                      | 301 – 400   | С уклоном до 8 ‰  | 1,20      |
|                                      |             | С уклоном свыше 8 ‰   | 1,30      |
|                                      | 300 и менее | С уклоном до 8 ‰  | 1,25      |
|                                      |             | С уклоном свыше 8 ‰   | 1,35      |

Влияние осевых нагрузок на интенсивность выхода элементов ВСП учитывается следующими коэффициентами:

| средние осевые нагрузки, КН | корректирующие коэффициенты |
|-----------------------------|-----------------------------|
| 175 – 190                   | 1,05                        |
| 191 – 210                   | 1,10                        |
| 211 – 230                   | 1,15                        |

Предложенная здесь методика определения норм расхода материалов на текущее содержание пути в зависимости от его конструкции и условий эксплуатации позволяет более точно определять потребность всей номенклатуры элементов ВСП на перспективу.

### Список литературы

1. Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути. Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 29 декабря 2012 г. № 2791 р / ОАО «РЖД». – М., 2012. – 227 с.
2. Среднесетевые нормы расхода материалов и изделий на текущее содержание, планово-предупредительную выправку, ремонт пути и других устройств путевого хозяйства. Утверждена указанием МПС РФ от 29 ноября 1997 г. № С-1386у/ ОАО «РЖД». – М., 1997. – 66 с.
3. Карпушенко, Н. И. Концепция методики определения затрат труда на текущее содержание пути [Текст] / Н. И. Карпушенко, А. В. Быстров, П. С. Труханов // Материалы 4-й междунар. науч.-практ. конф. «Безопасность регионов – основа устойчивого развития» / Иркутский гос. ун-т путей сообщения. – Иркутск, 2014. – С. 389 – 394.

### References

1. Instruction on the current maintenance of a railway track. It is approved as the order of JSC RZD of December 29, 2012 No. 2791 of river – М.: 2012. – 227 p.
2. Srednesetevy consumption rates of materials and products on the current contents, scheduled preventive bearing, track repair and other devices of traveling facilities. It is approved as the Indication of Ministry of Railways of the Russian Federation of November 29, 1997 No. S-1386u. – М.: 1997. – 66 p.
3. Karpushchenko N. I., Bystrov A. V., Trukhanov P. S. Concept of a technique of definition of costs of work of the current maintenance of a way. Materials of the fourth international scientific

and practical conference «Safety of regions – a basis of a sustainable development». – Irkutsk: Ir-SUMC, 2014. – 389 – 394 p.

УДК 625.12.033.38

У. Э. Эргашев, Н. И. Бегматов

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЁССОВИДНЫХ ГРУНТОВ ПРИ ДЕЙСТВИИ ВИБРОДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ, ВОЗНИКАЮЩЕЙ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПОЕЗДОВ СО СКОРОСТЯМИ 200 – 250 км/ч

*Приведены результаты исследования прочностных характеристик лёссовидной супеси в условиях трехосного сжатия при воздействии вибродинамической нагрузки от высокоскоростного подвижного состава. Исследования выполнялись на вибростабилометре, в основу работы установки положен принцип моделирования вибродинамического воздействия с периодическим изменением гидростатического давления в рабочей камере стабилометра. Получены экспериментальные значения удельного сцепления и угла внутреннего трения, а также величин их относительного снижения при воздействии вибродинамической нагрузки.*

В соответствии с планом развития скоростного и высокоскоростного движения в Республике Узбекистан в 2011 г. была реконструирована железнодорожная магистраль Ташкент – Самарканд под скорости 200 – 250 км/ч, в 2015 г. состоялось открытие скоростного движения поездов на линии Мараканд – Карши – Термез, и в дальнейшем, к 2020 г. намечается открытие скоростного движения поездов на линии Мараканд – Навои – Бухара. Введение скоростного и высокоскоростного движения поездов на сети железных дорог Узбекистана тесно связано с обеспечением необходимого уровня надежности железнодорожного пути, в том числе земляного полотна как его несущей конструкции. Изучение особенностей геологического строения этих участков показывает, что 55 – 60 % их длины представлено насыпями, сложенными лёссовидными грунтами.

Прочностные характеристики лёссовидных грунтов в условиях трехосного напряженного состояния при воздействии вибродинамических нагрузок, возникающих при движении грузового поезда со скоростями до 100 км/ч, исследовались А. М. Абдукаримовом [2], деформативные свойства лёссовидных грунтов при воздействии вибродинамической нагрузки от скоростного подвижного состава исследовались З. Э. Мирсалиховом [3].

Изменение прочностных характеристик лёссовидных грунтов, распространенных в Республике Узбекистан, при вибродинамическом воздействии, возникающем при движении поездов со скоростями 200 – 250 км/ч, ранее не исследовалось.

Для проведения исследований прочностных характеристик лёссовидных грунтов были отобраны образцы грунтов на скоростном железнодорожном участке Боявут – Янгиер в Республике Узбекистан. Земляное полотно представлено насыпью высотой 2,2 метра, отсыпанной из лёссовидных грунтов. Образцы грунтов отбирались монолитами ненарушенного сложения в соответствии с рекомендациями работы [5]. Отбор осуществлялся с помощью специального изготовленного грунтоноса для ручного бурового комплекта. Отобранные монолиты сразу же погружались в металлическую гильзу. Для обеспечения естественной влажности и природной структуры гильзы плотно закрывались металлической крышкой, после чего производилось парафинирование швов. В таком виде образцы грунта транспортировались в лабораторию. Лабораторные исследования осуществлялись в лаборатории кафедры «Управление технология строительства» ПГУПСа в вибростабилометре конструкции ЛИИЖТа, в котором моделируются вибродинамические нагрузки, передающиеся грунтам земляного полотна, методом консолидированно-недренированных испытаний.

В процессе лабораторных исследований были определены показатели физических свойств лёссовидного грунта. Все лабораторные опыты выполнялись в соответствии с дей-

ствующими стандартами [7]. По результатам исследований установлено, что грунт является лёссовидной супесью, находится в полутвердом состоянии и характеризуется высокой плотностью сложения.

Изучение прочностных свойств глинистых грунтов при действии вибродинамической нагрузки показывает, что существенное влияние на характеристики прочности оказывает естественная влажность. Поэтому с учетом необходимости выявления зависимости прочностных свойств при вибродинамических нагрузках от влажности грунта большинство серий испытаний по определению удельного сцепления и угла внутреннего трения выполнено на образцах нарушенной структуры. Образцы нарушенной структуры с задаваемой величиной влажности изготавливались в соответствии с ГОСТ 12248-96 [6]. При этом при изготовлении образцов обеспечивалась плотность сухого грунта (скелета), равная фактической плотности в земляном полотне. Таким образом, образцы грунта имели коэффициент уплотнения, близкий к фактическому в теле насыпи. Рабочие размеры образцов составляли 60 мм по высоте и 40 мм в диаметре. Перед испытанием все образцы взвешивались, их вес определялся с точностью до 0,1 г.

Для определения прочностных характеристик лёссовидной супеси в камере стабилометра создавалось гидростатическое давление, равное 0,4; 0,6 и 0,8 кгс/см<sup>2</sup>. В работе [4] приведен уровень вибродинамической нагрузки, возникающей в условиях высокоскоростного движения поездов (при скоростях 200 – 250 км/ч). Для лёссовидных супесей при скорости 250 км/ч на уровне основной площадки земляного полотна значение максимальной результирующей амплитуд колебаний составляет 276 мкм в зависимости от состояния верхнего строения пути, земляного полотна и его основания. В связи с этим максимальная вибродинамическая нагрузка в камере стабилометра была принята на уровне 300 мкм.

Определение прочностных характеристик грунтов при воздействии вибродинамических нагрузок возможно при нескольких режимах испытаний, широко распространенных в механике грунтов [1]. Учитывая характер работы лёссовидных грунтов земляного полотна, воспринимающего постоянную нагрузку от собственного веса балласта, рельсошпальной решетки, а также непродолжительный период действия временной нагрузки при затрудненном или невозможном дренировании воды, в качестве основной методики принято, консолидированно-недренированное испытание при максимально возможной скорости разрушения грунта. Такой метод испытания сводится к выдерживанию грунта под всесторонним давлением до полного затухания деформаций, что легко устанавливается по показанию волюметра. После этого на грунт передавалась вибродинамическая нагрузка, которая воздействовала в течение некоторого времени, а затем производилось условно-мгновенное разрушения грунта [1]. Метод условно-мгновенного разрушения при рычажной передаче нагрузки на образец обычно заключается в том, что в процессе эксперимента грунт разрушается под действием нагрузки, укладываемой на подвеску прибора в максимально возможном темпе. Процесс разрушения грунта осциллографировался датчиком вертикальной деформации. Конструкция датчика позволяет на ленте осциллографа регистрировать график нарастания деформаций во времени практически с любой скоростью в зависимости от действующей нагрузки. Так как нагрузка создается постепенно уменьшающимися ступенями, на осциллограмме фиксируется своеобразный перелом графика, соответствующий моменту приложения нагрузки. Таким образом, по данным осциллограмм с использованием тарифовочных графиков можно получить в любой период времени разрушения грунта следующие данные: действующую нагрузку на любой ступени разрушения, соответствующую ей величину истинной деформации, время действия нагрузки, а следовательно, и время развития деформации.

На основании этих величин, используя рекомендации, приведенные в источнике [1], рассчитываются относительная деформация грунта  $\lambda$ , действующие вертикальные напряжения и значения избыточных вертикальных напряжений (девиатор). По полученным значениям традиционным способом строилась графическая зависимость развития относительной деформации  $\lambda$  от девиатора напряжений  $q = \sigma_1 - \sigma_3$ , по которой определялось предельное состояние

образцов лёссовидной супеси. Предельное состояние грунта по графику  $\lambda = f(\sigma)$  определяется значительно точнее и объективнее, чем общепринятым способом.

Полученные разрушающие избыточные напряжения при действии как статической, так и вибродинамической нагрузки позволили построить круги Мора, огибающие к которым определяют значения сцепления и угла внутреннего трения.

Исследование прочностных свойств лёссовидных супесей при действии вибродинамической нагрузки осуществлялось при разных значениях влажности. Результаты таких экспериментов приведены в таблице 1 и на рисунках 1 и 2.

Таблица 1 – Прочностные характеристики лёссовидной супеси при действии статической и вибродинамической нагрузки

| Показатель консистенции $J_L$ | Коэффициент уплотнения | Плотность грунта, т/м <sup>3</sup> | Статика                                     |  | Динамика                                    |  |
|-------------------------------|------------------------|------------------------------------|---|--|---|--|
|                               |                        |                                    | удельное сцепление $C$ , кг/см <sup>2</sup> | угол внутреннего трения $\phi$ , град. | удельное сцепление $C$ , кг/см <sup>2</sup> | угол внутреннего трения $\phi$ , град. |
| 0                             | 1,00                   | 2,14                               | 0,24  | 32                                     | 0,22  | 30                                     |
| 0,1                           | 1,02                   | 2,18                               | 0,22  | 28                                     | 0,18  | 25                                     |
| 0,2                           | 1,02                   | 2,19                               | 0,20  | 24                                     | 0,14  | 20                                     |
| 0,3                           | 1,02                   | 2,20                               | 0,17  | 21                                     | 0,11  | 17                                     |
| 0,4                           | 1,01                   | 2,19                               | 0,14  | 19                                     | 0,09  | 15                                     |
| 0,5                           | 1,00                   | 2,18                               | 0,10  | 17                                     | 0,08  | 14                                     |

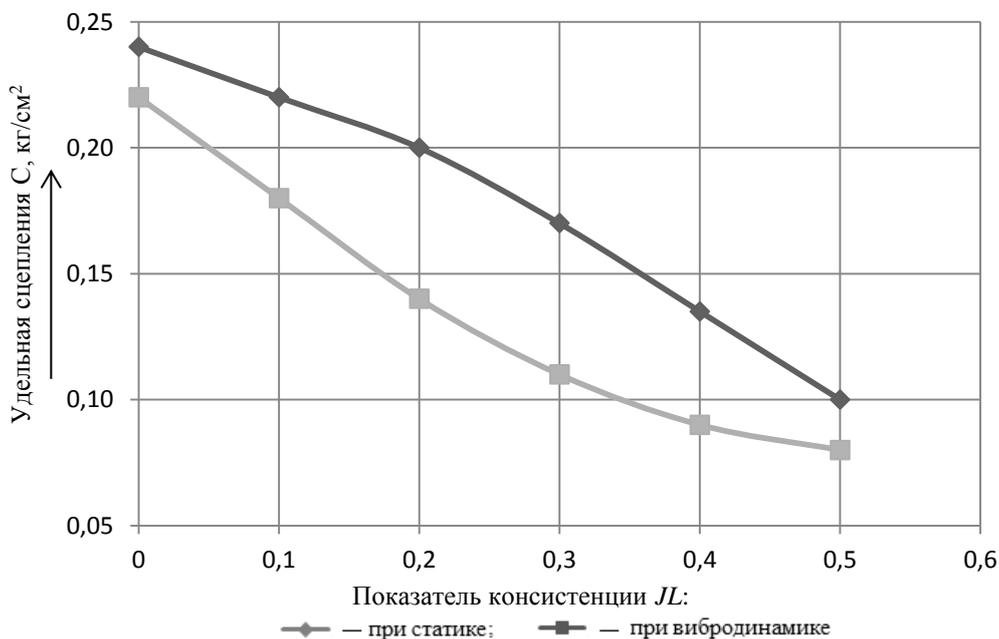


Рисунок 1 – Зависимость изменения удельного сцепления лёссовидной супеси от консистенции

Анализ рисунков 1, 2 показывает, что лёссовидная супесь, находящаяся в твердом состоянии, характеризуется высокими значениями удельного сцепления и угла внутреннего трения даже при вибродинамических нагрузках. В статике при влажности 13 %, при показателе консистенции  $J_L = 0$  сцепление равно 0,24 кг/см<sup>2</sup> и угол внутреннего трения – 32 °, а при вибродинамической нагрузке соответственно: сцепление – 0,22 кг/см<sup>2</sup> и угол – 30 °.

С увеличением влажности грунта происходит снижение удельного сцепления и угла внутреннего трения при действии как статической, так и вибродинамической нагрузки. Так,

в статике повышение влажности до 15 %, до показателя консистенции  $J_L = 0,3$ , величина сцепления составила  $0,17 \text{ кг/см}^2$ , т. е. снизилась на 32 %. В этом же состоянии угол внутреннего трения определяется величиной в  $21^\circ$ , т. е. уменьшился на 28 %. При действии вибродинамической нагрузки удельное сцепление составило  $0,11 \text{ кг/см}^2$ , т. е. снизилось на 50 %, а угол внутреннего трения равен  $17^\circ$ , т. е. уменьшился на 43 %. Аналогичная картина наблюдается при значениях влажности 16 %. Следовательно, действие вибродинамической нагрузки, возникающей при действии высокоскоростного подвижного состава, приводит к более интенсивному снижению прочностных характеристик лёссовидной супеси, залегающей в теле земляного полотна.

Для оценки влияния вибродинамического воздействия на прочностные характеристики лёссовидной супеси использовались показатели относительного снижения удельного сцепления и угла внутреннего трения, определяемые по формулам:

$$K_c = \frac{C_{\text{ст}} - C_{\text{дн}}^{\text{min}}}{C_{\text{ст}}}; \quad (1)$$

$$K_\phi = \frac{\phi_{\text{ст}} - \phi_{\text{дн}}^{\text{min}}}{\phi_{\text{ст}}}, \quad (2)$$

где  $C_{\text{ст}}$  и  $\phi_{\text{ст}}$  – удельное сцепление и угол внутреннего трения грунта при статических испытаниях;

$C_{\text{дн}}^{\text{min}}$  и  $\phi_{\text{дн}}^{\text{min}}$  – минимальное удельное сцепление и угол внутреннего трения, определенные при максимальной вибродинамической нагрузке, возникающей при скоростях 200 – 250 км/ч.

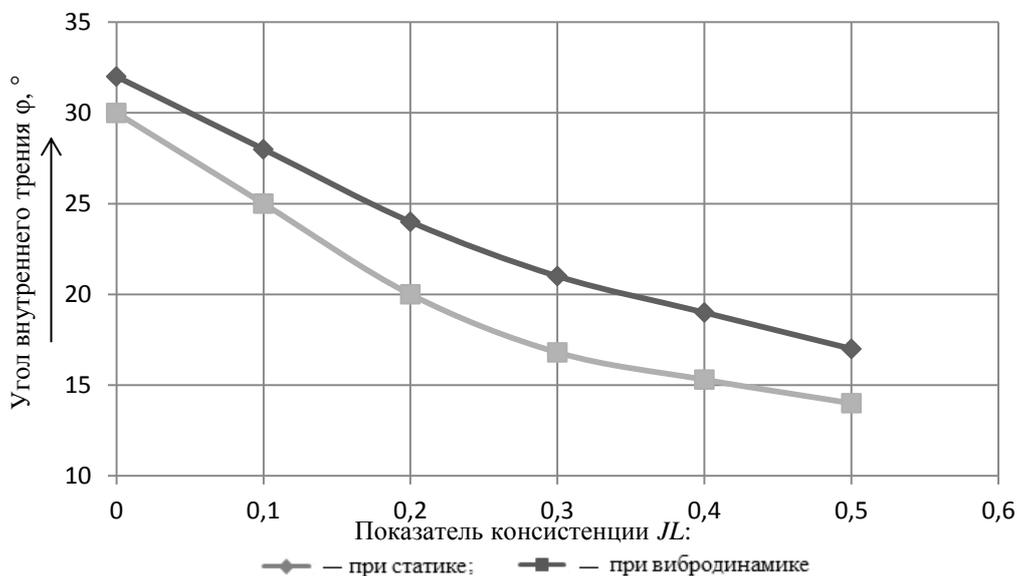


Рисунок 2 – Зависимость изменения угла внутреннего трения лёссовидной супеси от консистенции

В таблице 2 представлены результаты исследований зависимости указанных показателей от влажности.

На рисунках 3, 4 представлено изменение показателей относительного снижения сцепления и угла внутреннего трения в зависимости от консистенции лёссовидного грунта при действии вибродинамической нагрузки, которая возникает при скорости 250 км/ч.

Таблица 2 – Влияние вибродинамического воздействия на прочностные характеристики лёссовидной супеси

| Показатель консистенции $J_L$ | Относительное снижение удельного сцепления $K_c$ | Относительное снижение угла внутреннего трения $K_\phi$ |
|-------------------------------|--|---|
| 0                             | 0,08   | 0,06  |
| 0,1                           | 0,18   | 0,11  |
| 0,2                           | 0,30   | 0,17  |
| 0,3                           | 0,35   | 0,20  |
| 0,4                           | 0,33   | 0,19  |
| 0,5                           | 0,20   | 0,18  |

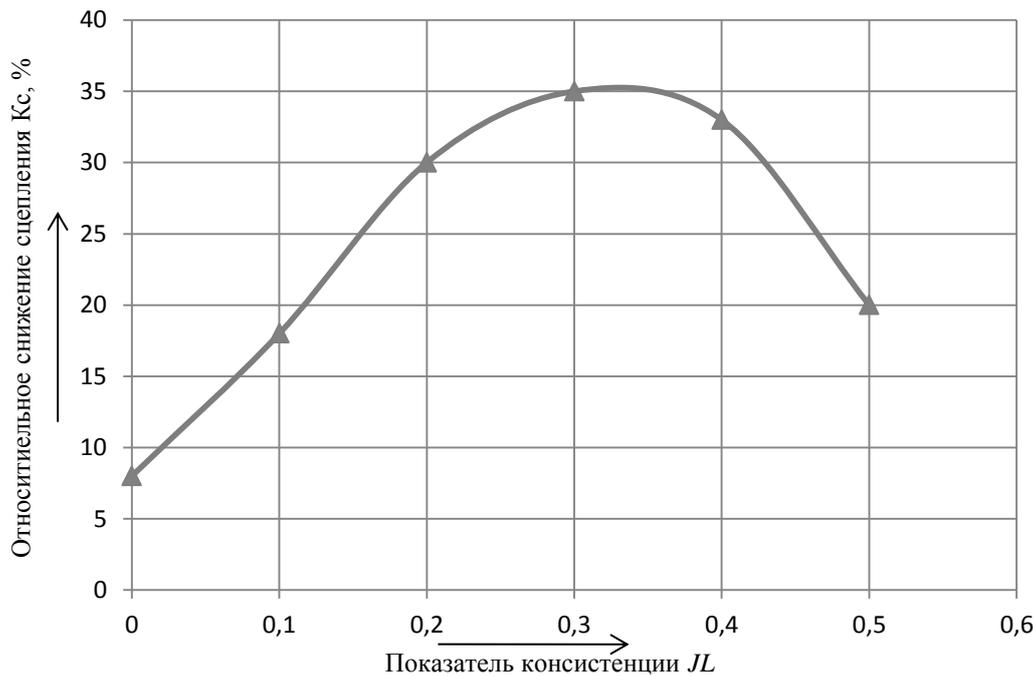


Рисунок 3 – Зависимость изменения показателя относительного снижения сцепления  $K_c$  от консистенции

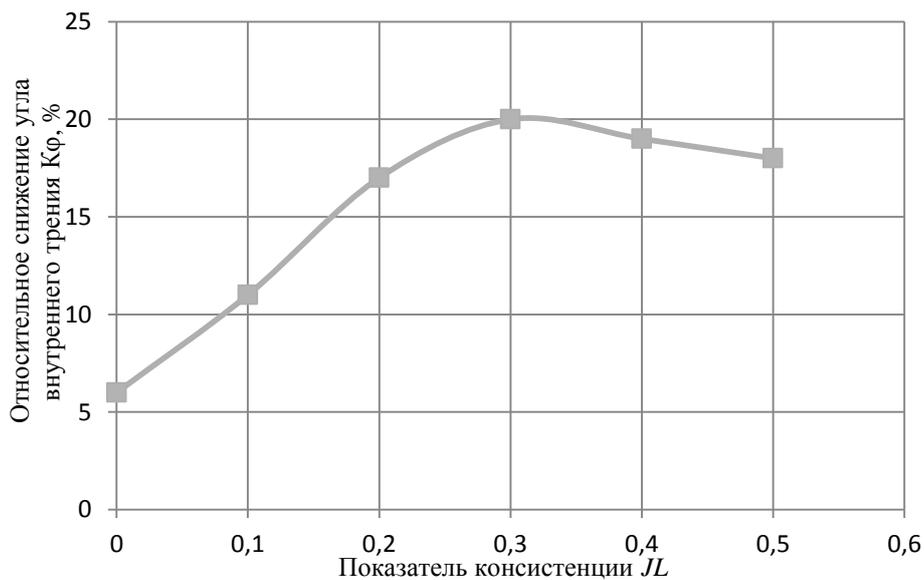


Рисунок 4 – Зависимость изменения показателя относительного снижения угла внутреннего трения  $K_\phi$  от консистенции

Анализ рисунков 3, 4 свидетельствует о незначительном снижении прочности лёссовидной супеси при влажности, близкой к пределу раскатывания ( $J_L = 0$ ). Коэффициент относительного снижения сцепления составляет всего 0,08, а коэффициент относительного снижения угла внутреннего трения – 0,06 при действии максимальной вибродинамической нагрузки. С увеличением влажности прочностные характеристики под влиянием вибродинамического воздействия снижаются. Максимальная чувствительность лёссовидной супеси при действии вибродинамической нагрузки достигается в диапазоне от 0,28 до 0,47. При действии вибродинамической нагрузки, возникающей при скорости 250 км/ч, сцепление снижается на 35 %, а угол внутреннего трения – на 20 %.

Выполненные экспериментальные исследования прочностных характеристик лёссовидной супеси под влиянием вибродинамической нагрузки, которая возникает при высокоскоростном движении поездов, позволяют сделать следующие выводы.

1. Снижение прочностных характеристик лёссовидной супеси железнодорожного земляного полотна происходит под влиянием динамического воздействия, нарушающего силы контактного взаимодействия между элементарными частицами.

2. С увеличением влажности лёссовидных супесей при действии вибродинамической нагрузки, возникающей при скоростях 200 – 250 км/ч, происходит более интенсивное снижение прочностных характеристик, чем в статике. При увеличении влажности с 13 до 15 % удельное сцепление в статике снижаются на 32 %, а в динамике – на 50 %. Соответственно угол внутреннего трения в статике снижается на 32 %, в динамике – на 43 %.

3. Максимальное снижение сцепления и угла внутреннего трения лёссовидной супеси, залегающей в теле насыпи, под воздействием вибродинамических нагрузок, возникающих при скоростях 200 – 250 км/ч, регистрируется при значении показателя консистенции от 0,28 до 0,37 и составляет 35 % для сцепления и 20 % для угла внутреннего трения.

4. Полученные результаты указывают на меньшую чувствительность лёссовидных супесей земляного полотна к вибродинамическим воздействиям по сравнению с обычными глинистыми грунтами. При критической влажности ( $0,27 \leq J_L \leq 0,36$ ) прочностные характеристики обычных глинистых грунтов снижаются: сцепление – на 43 %, угол внутреннего трения – на 34 % [1]. Прочностные характеристики лёссовидных супесей при критической влажности ( $0,28 \leq J_L \leq 0,47$ ) снижаются: сцепление – на 35 %, угол внутреннего трения – на 20 %.

5. Полученные значения изменения прочностных свойств лёссовидной супеси под влиянием вибродинамической нагрузки, возникающей при высокоскоростном движении поездов, показывают, что можно пользоваться расчетами проектных организаций для определения несущей способности земляного полотна, отсыпанного из лёссовидной супеси, при высокоскоростном движении поездов.

### *Список литературы*

1. Прокудин, И. В. Прочность и деформативность железнодорожного земляного полотна из глинистых грунтов, воспринимающих вибродинамическую нагрузку [Текст]: дис... докт. техн. наук: 05.22.06 / Прокудин Иван Васильевич. – Л., 1982. – 458 с.

2. Абдукаримов, А. М. Исследование прочностных характеристик лёссовых грунтов в условиях трехосного напряженного состояния при воздействии вибродинамических нагрузок [Текст] / А. М. Абдукаримов, А. Ф. Колос // Известия ПГУПС / Петербургский гос. ун-т путей сообщения. – СПб. – 2011. – № 3. – С.176 – 181.

3. Мирсалихов, З. Э. Исследование деформативных свойств лёссовидных супесей при воздействии вибродинамической нагрузки от скоростного подвижного состава [Текст] / З. Э. Мирсалихов, А. Ф. Колос // Инженерный вестник Дона [Электронный журнал]. – 2012. – № 3. URL: <http://ivdon.ru/magazine/latest/n3y2012/922/>

4. Эргашев, У. Э. Прогнозирование параметров вибродинамического воздействия на грунты земляного полотна при высокоскоростном движении поездов [Текст] / У. Э. Эргашев // Известия ТашИИТа / Ташкентский ин-т инж. ж.-д. трансп. – Ташкент. – 2015. – № 2. – С. 32 – 36.

5. ГОСТ 12071-2000. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов / Межгосударственная научно-техническая комиссия по стандартизации и техническому нормированию в строительстве. – М., 2000. – 25 с.

6. ГОСТ 12248-96. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости / Межгосударственная научно-техническая комиссия по стандартизации и техническому нормированию в строительстве. – М., 1996. – 61 с.

7. ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. – М.: Стандартинформ, 1984. – 19 с.

## References

1. Prokudin I. V. *Strength and deformability of the railway roadbed of clayey soils that receive vibrodynamic load* (Prochnost' i deformativnost' zheleznodorozhnogo zemlyanogo polotna iz glinistykh gruntov, vosprinimajushhih vibrodinamicheskikh nagruzku). Doctor's thesis, Leningrad, 1982, 458 p.

2. Abdukarimov A. M., Kolos A. F. The study of strength characteristics of loess soil under triaxial stress state when exposed to loads vibrodynamic [Issledovanie prochnostnykh kharakteristik lessovykh gruntov v usloviakh trekhosnogo napriazhennoho sostoianiia pri vozdeistvii vibrodinamicheskikh nagruzok]. *PGUPS Bulletin – Izvestiia PGUPS*, 2011, no. 3, pp. 176 – 181.

3. Mirsalihov Z. E., Kolos A. F. Research deformation properties of loess sandy loam vibrodynamic when exposed to loads from the high-speed rolling stock [Issledovanie deformativnykh svoistv leossovidnykh supesei pri vozdeistvii vibrodinamicheskoi nagruzki ot skorostnogo podvizhnogo sostava]. *Engineering Herald Don – Inženernyi vestnik Dona* [electronic journal], 2012, no. 3, URL: <http://ivdon.ru/magazine/latest/n3y2012/922/>

4. Ergashev U. E. Forecasting parameters vibrodynamic effects on soil subgrade at high-speed train traffic [Prognozirovanie parametrov vibrodinamicheskogo vozdeistviia na grunty zemliyanogo polotna pri vysokoskorostnom dvizhenii poezdov]. *TashIIT Bulletin – Izvestiia TashIIT*, 2015, no. 2, pp. 32 – 36.

5. Soils. Sampling, packing, transportation and storage of samples, State Standart 12071-2000 [Grunty. Otbor, upakovka, transportirovanie i khranenie obrazsov, GOST 12071-2000]. Moscow, 2000.

6. *Grunty. Metody laboratornogo opredeleniia kharakteristik prochnosti i deformiruемости, GOST 12248-96* (Soils. Laboratory methods for determining the strength and strain, State Standart 12248-96). Moscow, 1996.

7. *Grunty. Metody laboratornogo opredeleniia fizicheskikh kharakteristik, GOST 5180-84* (Soils. Laboratory methods for determining the physical characteristics, State Standart 5180-84). Moscow, 1984.

УДК 629.4.027.2

И. И. Галиев, О. В. Гателюк, Д. Ю. Лукс, В. Н. Ушак

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ ПОЛУВАГОНА С РАЗНЫМИ ТИПАМИ ТЕЛЕЖЕК (18-100 и 18-9810)

В статье проведен сравнительный анализ динамической нагруженности полувагона с разными типами тележек в различных режимах движения (груженный, порожний). Введение в эксплуатацию новых тележек обусловлено увеличением аварийных ситуаций при эксплуатации полувагонов с тележками модели 18-100.

С 2010 г. вступили в эксплуатацию грузовые полувагоны Тихвинского вагоностроительного завода (ОАО «ТВСЗ»), оборудованные грузовыми тележками модели 18-9810 (Barber S-2-R). Их опытная эксплуатация началась на сети ОАО «РЖД» в количестве двух вагонов в оперировании собственника вагонов ОАО «СУЭК». В дальнейшем в 2013 г. эксплуатировалось 2,5 тыс. вагонов, а в настоящее время – около 20 тыс. вагонов. Их отличие от тележек 18-100 по элементам рессорного подвешивания одного комплекта заключается в том, что нагружение пружин происходит последовательно: подклиновые внутренние, подклиновые наружные, внутренние под надрессорной балкой и наружные под надрессорной балкой. Вследствие этого силовая характеристика является кусочно-линейной. Характеристики пружин каждого типоразмера (290 мм; 285 мм; 275 мм и 240 мм соответственно названиям) составляют четыре участка силовой характеристики комплекта (рисунок 1, сплошная линия), где 1-й участок – работа подклиновых внутренних пружин, 2-й – работа подклиновых наружных и внутренних пружин, 3-й – в дополнение к предыдущим пружинам подключаются внутренние пружины под надрессорной балкой, 4-й – работа всех пружин рессорного комплекта. На этих же характеристиках указаны рабочие точки для порожнего и груженого режимов работы вагона на тележках 18-100 и 18-9810 при статической нагрузке в порожнем и груженом состоянии. Для сравнения на этом же рисунке (рисунок 1, штриховая линия) представлена аналогичная характеристика рессорного комплекта для тележки 18-100.

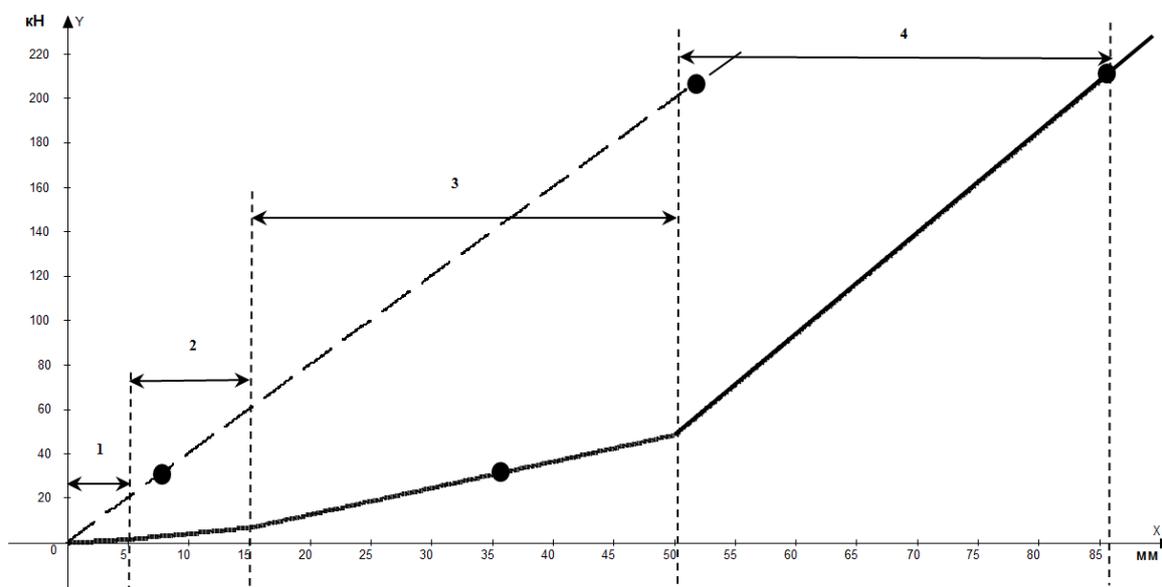


Рисунок 1 – Силовые характеристики одного рессорного комплекта тележки 18-9810 (сплошная линия) грузового вагона и тележки 18-100 (штриховая линия)

Силовая характеристика тележки 18-9810 имеет четыре линейных участка, каждый из них описывается равенствами по жесткости каждого типоразмера пружин этого подвешивания [1]:

$$C = \begin{cases} 2C_1, & \text{если } 0 \leq \Delta \leq 5 \text{ мм;} \\ 2(C_1 + C_2), & \text{если } 5 \leq \Delta \leq 15 \text{ мм;} \\ 2(C_1 + C_2) + 7C_3, & \text{если } 15 \leq \Delta \leq 50 \text{ мм;} \\ 2(C_1 + C_2) + 7(C_3 + C_4), & \text{если } 50 \leq \Delta \leq 86 \text{ мм.} \end{cases} \quad (1)$$

На каждом из участков восстанавливающая сила  $F$  будет определяться по уравнению:

$$F = C \cdot \Delta. \quad (2)$$

Для вагона с тележкой 18-9810 статические деформации  $\Delta$  составляют 36 мм для порож-

него и 86 – для груженого. Для вагона с тележкой 18-100 эти же деформации составляют 78 мм для порожнего, для груженого – 52.

Для сравнения динамических свойств вагонов на разных тележках рассмотрим движение их по рельсовому пути с геометрическими неровностями с разными скоростями при одинаковых параметрах неровностей (амплитудой  $\eta_0$  и длиной  $L_n$ ). Расчетная схема вагона в этом случае представлена на рисунке 2, где  $z$  – обобщенная координата подпрыгивания центра масс вагона;  $\varphi$  – обобщенная координата галопирования вагона.

На расчетной схеме принято:

$\beta$  – коэффициенты условного вязкого сопротивления кузова (кН·с/м);

$c$  – эквивалентные жесткости подвешивания кузова (кН/м);

$M$  – масса кузова (т);

$J$  – момент инерции кузова относительно центральной поперечной оси (кН·с<sup>2</sup>·м);

$\Delta_{1,2}$  – деформация рессорного подвешивания первой и второй тележек (м).

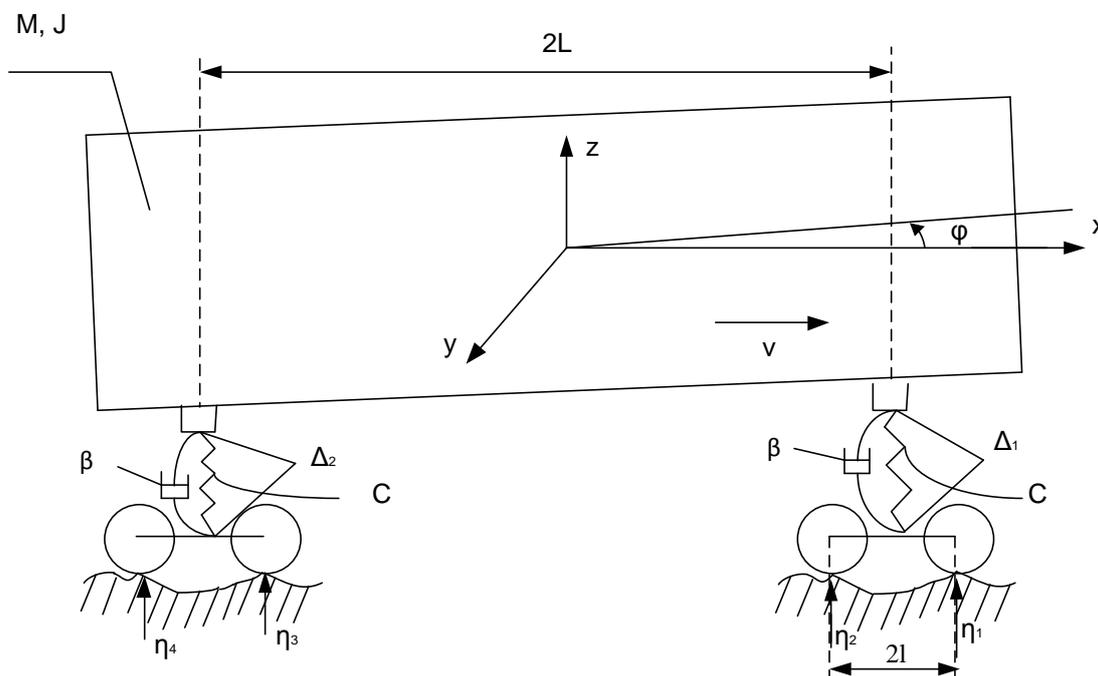


Рисунок 2 – Расчетная схема движения вагона по геометрической неровности

Для выбранной расчетной схемы необходимо составить дифференциальные уравнения движения вагона в вертикальной продольной плоскости по этим неровностям [2, 3]. Для каждого режима (груженого, порожнего) будем считать, что характеристика рессорного комплекта является линейной, так как вагон не может в движении изменять нагрузку.

Деформации рессорного подвешивания можно представить в виде:

$$\Delta_1 = z + L\varphi - \frac{\eta_1 + \eta_2}{2} \Delta_2 = z + L\varphi - \frac{\eta_3 + \eta_4}{2}. \quad (3)$$

Кинетическая энергия системы  $T$  и диссипативная функция  $\Phi$  для нее соответственно:

$$T = \frac{1}{2} M \dot{z}^2 + \frac{1}{2} J \dot{\varphi}^2; \quad (4)$$

$$\Phi = \frac{1}{2} \beta \Delta_1^2 + \frac{1}{2} \beta \Delta_2^2. \quad (5)$$

Потенциальная энергия системы

$$P_{ст} = 0; \quad (6)$$

$$P = \frac{1}{2} c \Delta_1^2 + \frac{1}{2} c \Delta_2^2. \quad (7)$$

Подставив выражение (3) в (4) и (5), получим:

$$\begin{cases} \Phi = \frac{1}{2}\beta \left( \dot{z} + L\dot{\varphi} - \frac{\dot{\eta}_1 + \dot{\eta}_2}{2} \right)^2 + \frac{1}{2}\beta \left( \dot{z} - L\dot{\varphi} - \frac{\dot{\eta}_3 + \dot{\eta}_4}{2} \right)^2; \\ \Pi = \frac{1}{2}C \left( z + L\varphi - \frac{\eta_1 + \eta_2}{2} \right)^2 + \frac{1}{2}C \left( z + L\varphi - \frac{\eta_3 + \eta_4}{2} \right)^2. \end{cases} \quad (8)$$

С помощью уравнения Лагранжа получим дифференциальные уравнения колебаний движущегося вагона по пути с геометрическими неровностями.

Определим частные производные по обобщенной координате  $z$  и обобщенной скорости  $\dot{z}$  от потенциальной энергии  $\Pi$  и функции рассеяния  $\Phi$ :

$$\frac{\partial \Pi}{\partial z} = 2Cz - \frac{1}{2}C(\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \eta_4); \quad (9)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \dot{z}} = \beta \left( \dot{z} + L\dot{\varphi} - \frac{\dot{\eta}_1 + \dot{\eta}_2}{2} \right) + \beta \left( \dot{z} - L\dot{\varphi} - \frac{\dot{\eta}_3 + \dot{\eta}_4}{2} \right) = 2\beta\dot{z} - \frac{1}{2}\beta(\dot{\eta}_1 + \dot{\eta}_2 + \dot{\eta}_3 + \dot{\eta}_4). \quad (10)$$

Уравнение для расчета колебаний при подпрыгивании вагона представится в виде:

$$M\ddot{z} + 2\beta\dot{z} + 2Cz = \frac{1}{2}\beta(\dot{\eta}_1 + \dot{\eta}_2 + \dot{\eta}_3 + \dot{\eta}_4) + \frac{1}{2}C(\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \eta_4). \quad (11)$$

Аналогичные действия выполним по обобщенной координате  $\varphi$  и обобщенной скорости:

$$\begin{aligned} \dot{\varphi} \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}} &= \beta \left( \dot{z} + L\dot{\varphi} - \frac{\dot{\eta}_1 + \dot{\eta}_2}{2} \right) L + \beta \left( \dot{z} - L\dot{\varphi} - \frac{\dot{\eta}_3 + \dot{\eta}_4}{2} \right) (-L) = \\ &= 2\beta L^2 - \frac{1}{2}\beta((\dot{\eta}_1 + \dot{\eta}_2) - (\dot{\eta}_3 + \dot{\eta}_4)); \end{aligned} \quad (12)$$

$$\frac{\partial \Pi}{\partial \varphi} = 2CL^2\varphi - \frac{1}{2}CL^2((\eta_1 + \eta_2) - (\eta_3 + \eta_4)). \quad (13)$$

Далее получим уравнение для вычисления галопирования кузова:

$$J\ddot{\varphi} + 2\beta L^2\dot{\varphi} + 2CL^2\varphi = \frac{1}{2}\beta L((\dot{\eta}_1 + \dot{\eta}_2) - (\dot{\eta}_3 + \dot{\eta}_4)) + \frac{1}{2}CL((\eta_1 + \eta_2) - (\eta_3 + \eta_4)). \quad (14)$$

Необходимо найти  $z(t)$  и  $\varphi(t)$ . Рассмотрим сначала уравнение (11).

Обозначим в уравнении (11):  $2n = \frac{2\beta}{M}$ ;  $2n_1 = \frac{\beta}{2M}$ ;  $\omega_0 = \sqrt{\frac{2C}{M}}$ ;  $\omega_{01} = \sqrt{\frac{C}{2M}}$ .

Тогда уравнение примет вид:

$$\ddot{z} + 2nz + \omega_0^2 z = 2n_1(\dot{\eta}_1 + \dot{\eta}_2 + \dot{\eta}_3 + \dot{\eta}_4) + \omega_{01}^2(\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \eta_4). \quad (15)$$

Будем считать, что неровности пути имеют волнообразный характер, т. е.  $\eta_1 = \eta_0 \cos \omega t$ , где  $\eta_0$  – амплитуда неровности;  $\omega = \frac{2\pi v}{L_H}$  – частота внешнего воздействия;  $L_H$  – длина неровности. Тогда для других колесных пар (2-я, 3-я и 4-я) соответственно:

$$\eta_2 = \eta_0 \cos \left( \omega t - \frac{2\pi \cdot 2l}{L_H} \right) = \eta_0 \cos \omega t \cdot \cos \frac{2\pi \cdot 2l}{L_H} + \eta_0 \sin \omega t \cdot \sin \frac{2\pi \cdot 2l}{L_H}; \quad (16)$$

$$\eta_3 = \eta_0 \cos \left( \omega t - \frac{2\pi \cdot 2L}{L_H} \right) = \eta_0 \cos \omega t \cdot \cos \frac{2\pi \cdot 2L}{L_H} + \eta_0 \sin \omega t \cdot \sin \frac{2\pi \cdot 2L}{L_H}; \quad (17)$$

$$\eta_4 = \eta_0 \cos \left( \omega t - \frac{2\pi \cdot 2(l+L)}{L_H} \right) = \eta_0 \cos \omega t \cdot \cos \frac{2\pi \cdot 2(l+L)}{L_H} + \eta_0 \sin \omega t \cdot \sin \frac{2\pi \cdot 2(l+L)}{L_H}. \quad (18)$$

В результате сложения получим:

$$\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \eta_4 = \eta_0 \left( 1 + \cos \frac{2\pi \cdot 2l}{L_H} + \cos \frac{2\pi \cdot 2L}{L_H} + \cos \frac{2\pi \cdot 2(l+L)}{L_H} \right) \cos \omega t + \quad (19)$$

$$\begin{aligned}
 +\eta_0 \left( \sin \frac{2\pi \cdot 2l}{L_H} + \sin \frac{2\pi \cdot 2L}{L_H} + \sin \frac{2\pi \cdot 2(l+L)}{L_H} \right) \sin \omega t &= \eta_0 a_1 \cos \omega t + \eta_0 b_1 \sin \omega t; \\
 \dot{\eta}_1 + \dot{\eta}_2 + \dot{\eta}_3 + \dot{\eta}_4 &= -\eta_0 a_1 \omega \sin \omega t + \eta_0 b_1 \omega \cos \omega t.
 \end{aligned} \tag{20}$$

Решение уравнения (15) находим в виде:

$$\begin{cases} z(t) = A_1 \cos \omega t + B_1 \sin \omega t; \\ \dot{z}(t) = -A_1 \omega \sin \omega t + B_1 \omega \cos \omega t; \\ \ddot{z}(t) = -A_1 \omega^2 \cos \omega t - B_1 \omega^2 \sin \omega t. \end{cases} \tag{21}$$

Подставим (21) в уравнение (15), получим:

$$\begin{aligned}
 ((\omega_0^2 - \omega^2)A_1 + 2n\omega B_1) \cos \omega t + ((\omega_0^2 - \omega^2)B_1 - 2n\omega A_1) \sin \omega t &= \\
 = -2n_1 \eta_0 a_1 \omega \sin \omega t + 2n_1 \eta_0 b_1 \omega \cos \omega t + \omega_{01}^2 \eta_0 a_1 \cos \omega t + \omega_{01}^2 \eta_0 b_1 \sin \omega t.
 \end{aligned} \tag{22}$$

Приравняв коэффициенты при  $\cos \omega t$  и  $\sin \omega t$  друг к другу, получим систему уравнений для нахождения коэффициентов  $A_1$  и  $B_1$ :

$$\begin{cases} (\omega_0^2 - \omega^2)A_1 + 2n\omega B_1 = (2n_1 \omega b_1 + \omega_{01}^2 a_1) \eta_0; \\ -2n\omega A_1 + (\omega_0^2 - \omega^2)B_1 = (-2n_1 \omega a_1 + \omega_{01}^2 b_1) \eta_0. \end{cases} \tag{23}$$

Решив систему (23), получим коэффициенты  $A_1$  и  $B_1$ :

$$A_1 = \frac{(\omega_{01}^2 a_1 + 2n_1 \omega b_1)(\omega_0^2 - \omega^2) - 2n\omega(\omega_{01}^2 b_1 - 2n_1 \omega a_1)}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4n^2 \omega^2} \eta_0; \tag{24}$$

$$B_1 = \frac{(\omega_{01}^2 b_1 - 2n_1 \omega a_1)(\omega_0^2 - \omega^2) + 2n\omega(\omega_{01}^2 a_1 + 2n_1 \omega b_1)}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4n^2 \omega^2} \eta_0. \tag{25}$$

Преобразуем уравнение (10), для чего проведем действия, аналогичные для формулы (15), получим:

$$\begin{cases} \varphi(t) = A_2 \cos \omega t + B_2 \sin \omega t; \\ \dot{\varphi}(t) = -A_2 \omega \sin \omega t + B_2 \omega \cos \omega t; \\ \ddot{\varphi}(t) = -A_2 \omega^2 \cos \omega t - B_2 \omega^2 \sin \omega t. \end{cases} \tag{26}$$

Подставим (26) в уравнение (15), получим:

$$\begin{aligned}
 ((\omega_{02}^2 - \omega^2)A_2 + 2n_2 \omega B_2) \cos \omega t + ((\omega_{02}^2 - \omega^2)B_2 - 2n\omega A_2) \sin \omega t &= \\
 = -2n_3 \eta_0 a_2 \omega \sin \omega t + 2n_3 \eta_0 b_2 \omega \cos \omega t + \omega_{03}^2 \eta_0 a_2 \cos \omega t + \omega_{03}^2 \eta_0 b_2 \sin \omega t.
 \end{aligned} \tag{27}$$

И, выполнив соответствующие преобразования, получим:

$$A_2 = \frac{(\omega_{03}^2 a_3 + 2n_3 \omega b_2)(\omega_{02}^2 - \omega^2) - 2n_2 \omega(\omega_{03}^2 b_2 - 2n_1 \omega a_2)}{(\omega_{02}^2 - \omega^2)^2 + 4n_2^2 \omega^2} \eta_0; \tag{28}$$

$$B_2 = \frac{(\omega_{03}^2 b_2 - 2n_3 \omega a_2)(\omega_{02}^2 - \omega^2) + 2n_2 \omega(\omega_{03}^2 a_2 + 2n_3 \omega b_2)}{(\omega_{02}^2 - \omega^2)^2 + 4n_2^2 \omega^2} \eta_0. \tag{29}$$

Решение дифференциальных уравнений выполнено для порожнего и груженого режимов. Результаты решения представлены в виде зависимостей от скорости движения как суммарные значения модулей амплитуд подпрыгивания  $Z(v)$  и галопирования  $\varphi(v)$  вагона, а также динамической силы в рессорном подвешивании (на один комплект)  $P(v)$ . Эти зависимости приведены на рисунках 3 – 10, на которых сплошной линией показаны значения для тележки 18-9810 (Barber S-2-R) и штриховой линией – для 18-100.

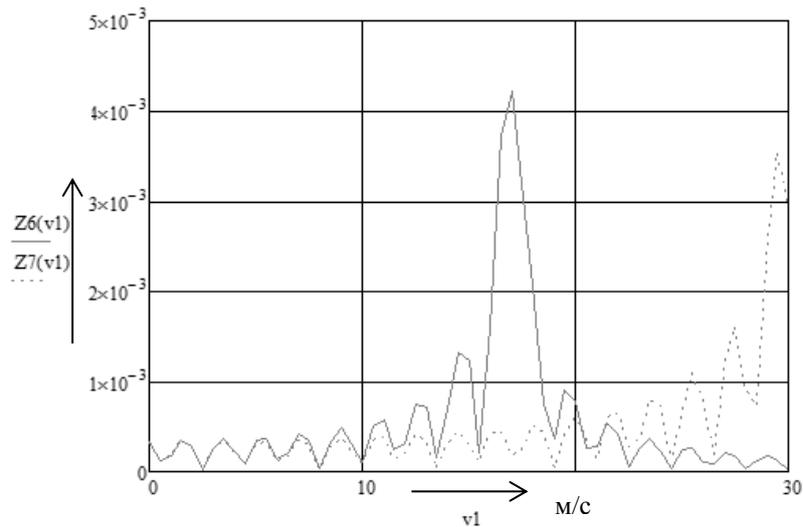


Рисунок 3 – Модули амплитуд подпрыгивания кузова  $Z(v)$  (порожний режим)

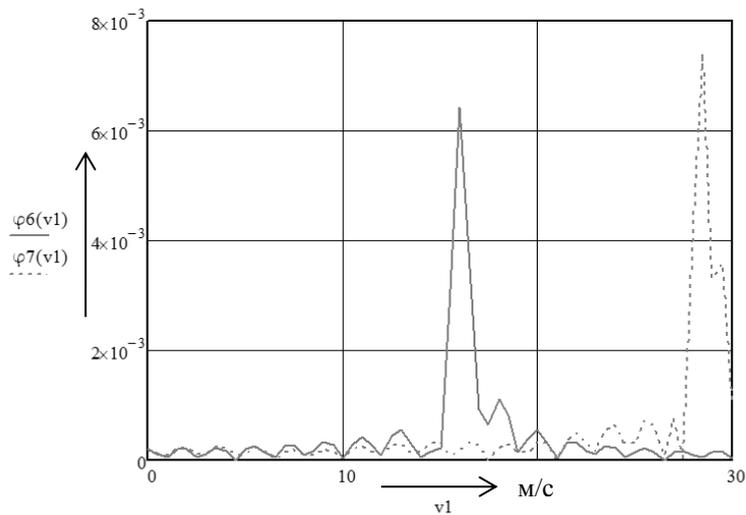


Рисунок 4 – Модули амплитуд галопирования кузова  $\varphi(v)$  (порожний режим)

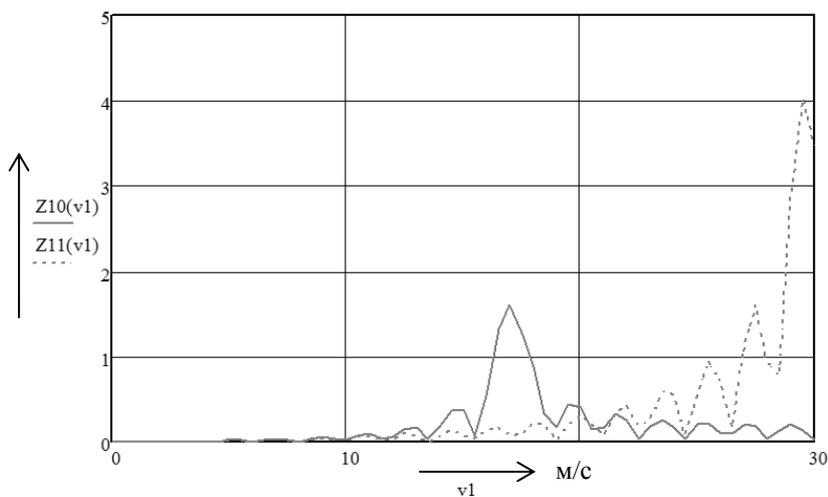


Рисунок 5 – Модули амплитуд ускорений по подпрыгиванию кузова  $\ddot{Z}(v)$  (порожний режим)

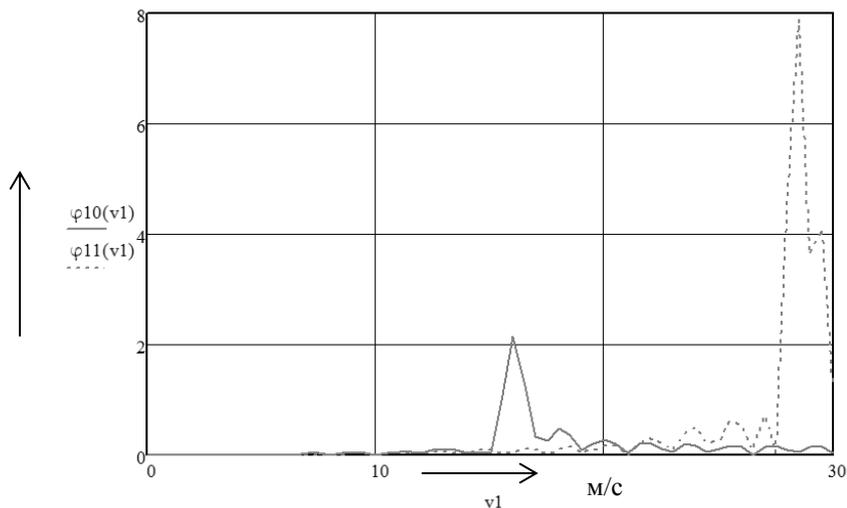


Рисунок 6 – Модули амплитуд ускорений по галопированию кузова  $\varphi(v)$  (порожний режим)

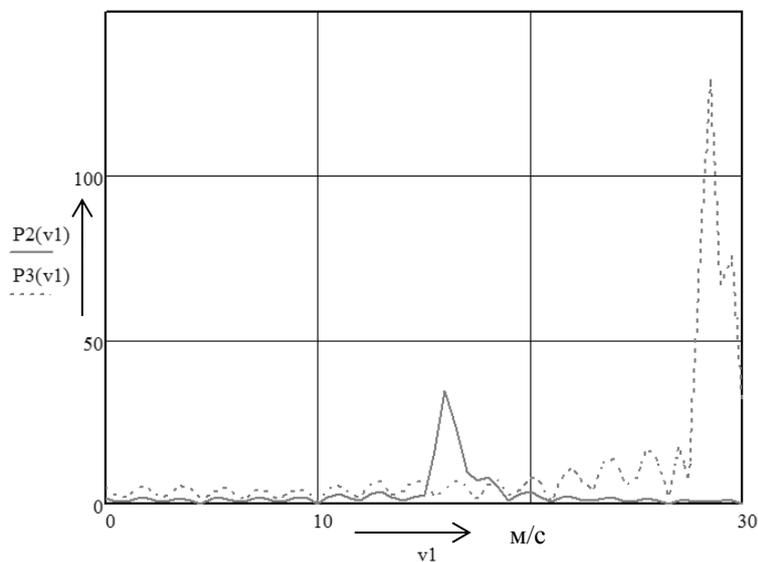


Рисунок 7 – Модули амплитуд динамической силы в рессорном подвешивании (на один комплект)  $P(v)$  (порожний режим)

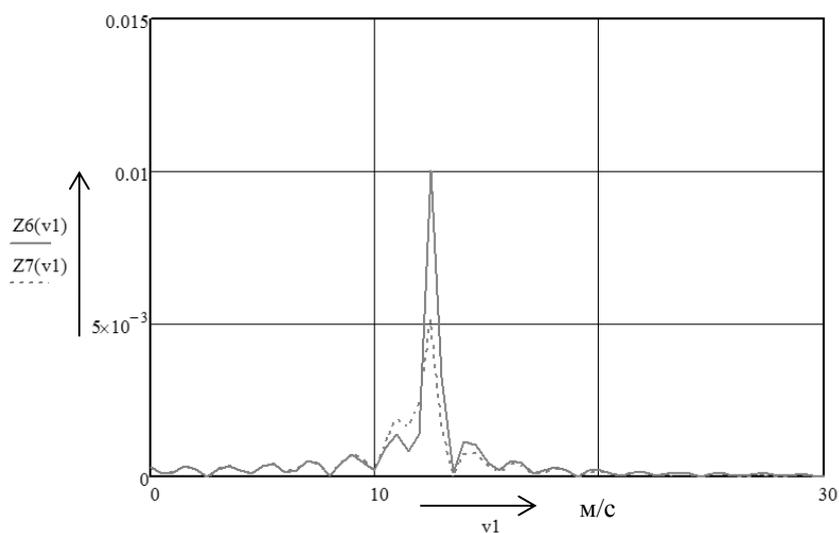


Рисунок 8 – Модули амплитуд подпрыгивания кузова  $Z(v)$  (груженный режим)

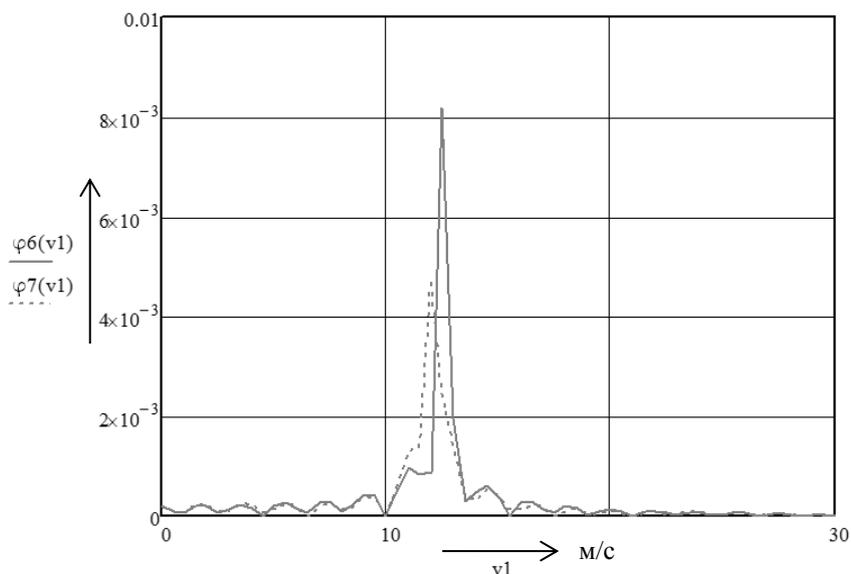


Рисунок 9 – Модули амплитуд галопирования кузова  $\varphi(v)$  (грузный режим)

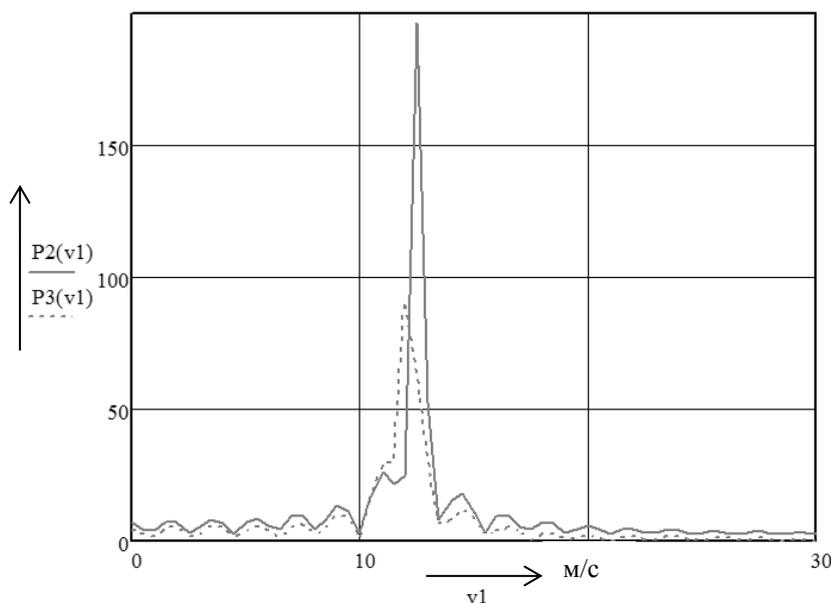


Рисунок 10 – Модули амплитуд динамической силы в рессорном подвешивании (на один комплект)  $P(v)$  (грузный режим)

Анализ результатов, полученных с помощью расчетов, позволяют сделать следующие выводы.

1. Уровень амплитуд колебаний подпрыгивания порожнего вагона (см. рисунок 3) для сравниваемых тележек одинаков, а колебания галопирования кузова (см. рисунок 4) происходят с большей амплитудой на тележках 18-100. Преимущество тележек 18-9810 состоит в том, что резонансный режим наступает в момент разгона и является кратковременным, тогда как для тележек 18-100 резонанс наступает в режиме эксплуатационных скоростей.

2. Вывод, сделанный по кривым перемещений кузова, подтверждается кривыми ускорений кузова в порожнем режиме (см. рисунки 5, 6).

3. По уровню динамических сил в рессорном подвешивании (см. рисунок 7) тележка 18-9810 имеет явные преимущества, так как они ниже, чем на тележках 18-100, в два – три раза.

4. Для груженого вагона пики резонансов с тележками 18-9810 и 18-100 близки друг к другу как по подпрыгиванию, так и по галопированию. Однако резонансные пики по галопированию проявляются при более высоких скоростях. По подпрыгиванию резонансные пики по амплитудам колебаний и ускорениям соответствуют скоростям 11 – 14 м/с, а по галопированию – 22,5-23,5 м/с. При этом следует отметить, что для груженных вагонов амплитудные значения оказываются близкими, но для вагонов с тележками 18-9810 – большими на 11 – 16 %. Объясняется это тем, что последний участок силовой характеристики рессорного комплекта тележки 18-9810 соответствует жесткости большей, чем для тележек 18-100 (см. рисунок 1).

5. Динамические силы на один рессорный комплект при возможном резонансе на скоростях, близких к 80 – 83 км/ч, различаются по значениям до 30 % в пользу тележки 18-9810 (200 кН для тележки 18-100 и 140 кН для тележки 18-9810). Для порожнего вагона наибольшие значения наблюдаются на скорости 30 м/с, которая в практике грузового движения на железных дорогах ОАО «РЖД» не используется.

## Список литературы

1. Нормы расчета и проектирования грузовых вагонов железных дорог колеи 1520 мм Российской Федерации [Текст] / ВНИИЖТ, ГосНИИВ. – М., 2004. – 213 с.
2. Кудрявцев, Н. Н. Динамические нагрузки ходовых частей грузовых вагонов [Текст] / Н. Н. Кудрявцев // Труды / ВНИИЖТ. – М.: Транспорт, 1977. – Вып. 572. – 427 с.
3. Бороненко, Ю. П. Тележки с повышенной осевой нагрузкой [Текст] / Ю. П. Бороненко, А. М. Орлова // Железнодорожный транспорт / ОАО «РЖД». – М. – 2008. – № 10. – С. 50.

## References

1. *Normy rascheta i proektirovaniia gruzovykh vagonov zheleznykh dorog kolei 1520 mm Rossiiskoi Federatsii* (The rules of calculation and design of railways wagons 1520 mm Russian Federation). Moscow: VNIIZhT, GosNIIV, 2004, 213 p.
2. Kudriavtsev N. N. *Dinamicheskie nagruzki khodovykh chastei gruzovykh vagonov* (Dynamic load undercarriages of freight cars). – М.: Transport, 1977, Ser. 572, 427 p.
3. Boronenko Iu. P., Orlova A. M. Trolley with high axial load [Telezhki s povyshennoi osevoi nagruzkoi]. *Zheleznodorozhnyi transport – Rail.*, 2008, no. 10, pp. 50.

УДК 629.4.015;656.2;621.0;534.014

А. В. Елисеев, С. В. Елисеев, Н. П. Сигачев

## ОБОСНОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ ОБОБЩЕННОГО ПОДХОДА К МОДЕЛИРОВАНИЮ ДИНАМИЧЕСКИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ ВИБРАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

Предлагается гипотеза формирования вибрационных состояний рабочей среды, основанная на представлении о том, что процесс формирования взаимодействия элементов в системах с неударживающими связями рассматривается как процесс, состоящий из нескольких фаз. Таковыми являются фазы контакта, при которых реакция связи положительна; фаза переходного состояния, когда реакция равна нулю; фаза зазора, в которой контактирующие поверхности могут совершать независимые движения. Задачи исследования ориентированы на детализацию теоретических представлений о динамических взаимодействиях твердого тела с вибрирующей поверхностью на основе разработанных математических моделей, получаемых при введении дополнительных внешних сил и упругих связей. Рассматриваются динамические взаимодействия элементов, в которых проявляются эффекты неударживающих связей; определены и развиты аналитические подходы в оценке возможностей вибрационных технологических процессов с непрерывным подбрасыванием рабочей сре-

*ды. Предлагается обобщенный подход для задач динамического синтеза, основой которых является введение понятия о функции зазора, позволяющей обосновать построение траекторий движения материальных частиц в соответствии с определенными критериями, отражающими свойства траекторий движения материальных частиц во взаимодействии с вибрирующей поверхностью. Разработан метод построения математических моделей формирования вибрационных взаимодействий с учетом факторов, имеющих технологическое значение, или критериев, к которым относятся условия реализации кратных режимов, влияние дополнительных сил и упругих связей. В рамках обобщенного подхода к решению задач динамического взаимодействия сыпучей среды с вибрирующей поверхностью рассмотрены возможности использования функции зазора для оценки и исследования форм движения материальных частиц в соответствии с влиянием ряда факторов, отражающих параметры вибрационного поля, условия взаимодействий с внешней средой и особенности формирования периодических режимов подбрасывания. Доказана теорема об условиях и возможностях реализации устойчивых режимов взаимодействия с вибрирующей поверхностью. Получены аналитические соотношения, определяющие условия реализации форм процессов взаимодействия сыпучей рабочей среды с деталями в технологиях вибрационного упрочнения. Приводятся результаты апробирования рекомендаций по построению технологических процессов в приложении к производственному технологическому комплексу.*

Вибрационные технологические процессы получили широкое распространение в производственных системах, относящихся к различным отраслям техники. В целом область проявления вибрационных взаимодействий может быть отнесена к достаточно развитому направлению современной динамики машин. Теоретический базис этого направления формируется на стыке теоретической механики и теорий механизмов и машин, колебаний, вибрационного перемещения, вибрационных процессов [1 – 3]. Вибрационные процессы разнообразны так же, как и их формы влияния вибраций на динамическое состояние технических объектов. В этом плане актуальным представляется внимание к процессам контактирования твердых тел как типовых элементов различных механизмов с определением условий формирования статических и динамических взаимодействий. Такие процессы часто изучаются как виброударные, что находит выражение в разработке технических приложений, связанных с поверхностной обработкой и повышением надежности деталей, работающих в условиях интенсивного динамического нагружения, что характерно для транспортных машин. Во многих случаях вибрационное воздействие рассматривается как фактор влияния на состояние взаимодействующих сторон контакта соприкасающихся тел и возникающих при этом физических эффектов [4]. Особый интерес представляет изучение особенностей неударяющих связей, которые важны для технологических процессов модификации свойств поверхностей, например, при вибрационном упрочнении, вибрационном транспортировании и др.

В предлагаемой статье рассматривается возможность разработки обобщенных подходов в решении задач динамических взаимодействий элементов машин, в том числе с целью построения математических моделей взаимодействия и определения параметров их рациональных форм.

Вибрационное взаимодействие достаточно часто используется для разработки новых технологических процессов, в которых необходимое качество продукции обеспечивается за счет взаимодействия сыпучей среды с вибрирующей поверхностью деталей. При этом неударяющие связи имеют широкое распространение в задачах динамики машин. Особенности этих связей заключаются в том, что при определенных условиях, в частности, при контактных взаимодействиях, когда реакция равна нулю, может происходить изменение структуры исходной механической системы. Изменение структуры системы сопровождается появлением ряда специфических эффектов. Неударяющие связи позволяют реализовать процессы периодических соударений, которые связаны с возможностями создания вибрационных технологических процессов. Процесс формирования взаимодействий в системах с неударяющими связями может рассматриваться как процесс, состоящий из нескольких фаз. Такими фазами являются фазы контакта, при которых реакция связи положительна; фаза переходного состояния, когда реакция равна нулю; фаза зазора, в которой контактирующие поверхности могут совершать автономные движения [3].

Развиваемый обобщенный подход в оценке характеристик траекторий движения частиц связан с детализацией представлений о формировании фазы свободного подлета с последу-

ющим взаимодействием с вибрирующей поверхностью. В качестве базовой используется математическая модель взаимодействия материальной частицы с горизонтальной поверхностью, колеблющейся по гармоническому закону  $H(t) = A \sin(\omega t)$ . При определении характеристик взаимодействия материальной частицы с вибрирующей поверхностью учитываются настроечные параметры базовой и расширенных математических моделей. Расширенные модели отражают действие дополнительных сил и вязкого трения.

В таблице 1 представлены основные элементы аналитического подхода: базовая модель, связи с параметрами, семейство возможных траекторий в фазе полета (рисунок 1), функция зазора, условия отрыва. Для сравнительной оценки возможностей влияния на процесс настроечных параметров вводится понятие функции зазора, позволяющей вести детализированное исследование наиболее значимых свойств вибрационных взаимодействий [5, 6].

Таблица 1. Элементы аналитического подхода

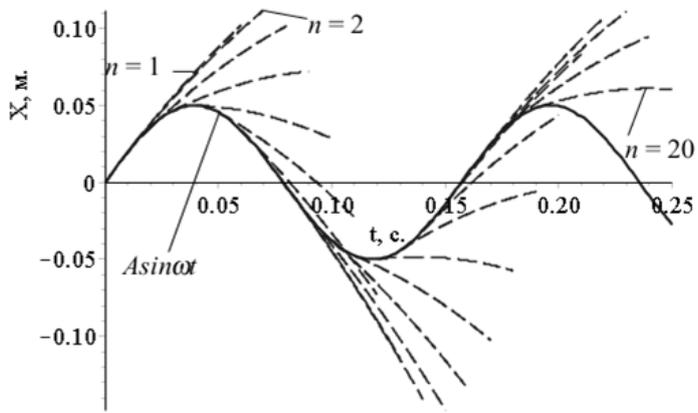
| I. Базовая модель  | II. Параметрическая модель   | III. Семейство возможных траекторий   |
|--|--|---|
| $\begin{cases} \ddot{X}(t) = -g, & t \geq t_0 \\ \dot{X}(t_0) = \dot{H}(t_0) \\ X(t_0) = H(t_0) \end{cases}$ | $\begin{cases} \frac{\partial^2 X_H(t, t_0)}{\partial t^2} = -g, & t \geq t_0 \\ \left. \frac{\partial X_H(t, t_0)}{\partial t} \right _{t=t_0} = \omega A \cos(\omega t_0) \\ X_H(t, t_0) _{t=t_0} = A \sin(\omega t_0) \end{cases}$        |  |
| <p>IV. Функция зазора</p> $R_H(t, t_0) = X_H(t, t_0) - H(t)$   | <p>V. Дифференциальные условия отрыва k-го порядка</p> $\begin{cases} \left. \frac{\partial^i R_H(t, t_0)}{\partial t^i} \right _{t=t_0} = 0, & i < k \\ \left. \frac{\partial^k R_H(t, t_0)}{\partial t^k} \right _{t=t_0} > 0 \end{cases}$ |   |

Рисунок 1 – Семейство возможных траекторий:  $t_0 = 0,01(n-1)$  с, где  $n = 1..20$ ,  $A = 0,05$  м,  $\omega = 40$  рад/с

Для варианта базовой модели, в которой поверхность движется по гармоническому закону, функция зазора принимает вид:

$$R_H(t, t_0) = A \sin(\omega t_0) - A \sin(\omega t) + A \omega(t - t_0) \cos(\omega t_0) - \frac{1}{2} g(t - t_0)^2, \quad (1)$$

$$t \geq t_0.$$

Обобщенный подход на основе использования функции зазора предполагает рассмотрение семейства возможных траекторий в фазе свободного полета. В общем случае взаимодействие частиц с поверхностью может происходить при законах движения поверхности, имеющих более сложную форму, чем гармонические.

Задачи исследования ориентированы на формирование теоретических представлений о динамических взаимодействиях твердого тела с вибрирующей поверхностью на основе разработки математических моделей при введении дополнительных внешних сил и упругих связей при учете неударяющих свойств контакта.

В рамках представлений о функции зазора условия отрыва материальной частицы с неударяющими связями определяются не только положением частицы или фазовыми параметрами гармонического процесса, но и определенными соотношениями между смещением, скоростью, ускорением, резкостью (понимаемой как третья производная от смещения по аналогии с понятием плавности или резкости движений, используемых в задачах динамики транспортных устройств).

Подход, связанный с представлениями о гармонических колебаниях поверхности, может быть распространен на более сложные формы движений и контактов [3]. Обоснованность применения и использования функции зазора опирается на теоремы о необходимых и достаточных условиях реализации отрыва [7].

**Теорема:** Пусть функция зазора бесконечно дифференцируема в  $R^2$ . Для отрыва частицы в момент  $t_0$  необходимо и достаточно, чтобы для бесконечной последовательности

$$d_i = \left. \frac{\partial^i R_H(t, t_0)}{\partial t^i} \right|_{t=t_0}, \quad i = 0 \dots \infty \text{ существовал } k \in N \text{ такой, что}$$

$$d_0 = 0, d_1 = 0, \dots, d_{k-1} = 0, d_k > 0. \quad (3)$$

Для решения задач сравнительного анализа возможностей возникновения взаимодействий вводится также понятие порядка точки отрыва, что обеспечивает определенные удобства в оценке возможных вариантов и форм движения частиц.  $N$ -й порядок точки отрыва определяется равенством нулю первых  $N - 1$  производных функции зазора и положительностью ее  $N$ -й производной. При гармонической форме движения поверхности разница между точками отрыва второго и третьего порядков трансформируется в разные виды траекторий. Это связано с тем, что при реализации траекторий движения в свободной фазе с непрерывным подбрасыванием частицы, выпадающие из условий кратности времени полета и периода колебаний, в последующих движениях могут не повторять траекторию первоначального движения. В таблице 2 приведены условия отрыва в терминах функции зазора для точек отрыва второго и третьего порядков.

Таблица 2. Условие на функцию зазора в точке отрыва второго и третьего порядков

|                               |                          |                             |                                  |                                   |
|-------------------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Точка отрыва второго порядка  | $R(t, t_0) _{t=t_0} = 0$ | $R'_t(t, t_0) _{t=t_0} = 0$ | $R''_{t^2}(t, t_0) _{t=t_0} > 0$ | -                                 |
| Точка отрыва третьего порядка | $R(t, t_0) _{t=t_0} = 0$ | $R'_t(t, t_0) _{t=t_0} = 0$ | $R''_{t^2}(t, t_0) _{t=t_0} = 0$ | $R'''_{t^3}(t, t_0) _{t=t_0} > 0$ |

В частном случае для гармонического закона движения поверхности имеет смысл рассматривать только второй и третий порядки отрыва точки. Физический смысл понятия порядка точки отрыва связан с особенностями соотношений элементов набора кинематических параметров движения. В таблице 3 представлены конкретизированные для базовой модели условия отрыва. На рисунке 2 представлены траектории движения материальных частиц из точек отрыва второго и третьего порядков.

Детализированные представления о вибрационных взаимодействиях, полученные на основе классификации условий отрыва второго и третьего порядков, проявляются в дифференциации форм непрерывных подбрасываний и соударений, что предопределяет интерес к оценке высоты подлета частицы над поверхностью и возможностям реализации кратных режимов в задачах синтеза специальных семейств траекторий, что нашло отражение в работе [8].

На основе использования функции зазора и условий отрыва получен ряд аналитических выражений для характеристик траекторий движения частиц после отрыва в точках второго и третьего порядков. На основе обобщенного подхода исследованы закономерности формирования траектории с непрерывным подбрасыванием – режимов с периодом свободного подлета, длительность которого кратна периоду вибрации контактирующей поверхности. Получены аналитические соотношения ряда ключевых характеристик: условия отрыва материальных частиц от поверхности колебания, оценка длительности полета, зависимость от постоянных дополнительных сил и возникающих сил сопротивления со стороны рабочей среды.

Установлена роль кратности периода свободного полета в формировании свойств режимов с непрерывным подбрасыванием и др. [9].

Таблица 3. Условия отрыва

| Порядок отрыва | Аналитические условия  |
|----------------|--|
| 0              | -  |
| 1              | -  |
| 2              | $\frac{A\omega^2}{g} \sin(\omega t) > 1$   |
| 3              | $\begin{cases} \frac{A\omega^2}{g} \sin(\omega t) = 1 \\ \cos(\omega t) > 0 \end{cases}$ |
| >3             | Условия несовместны  |

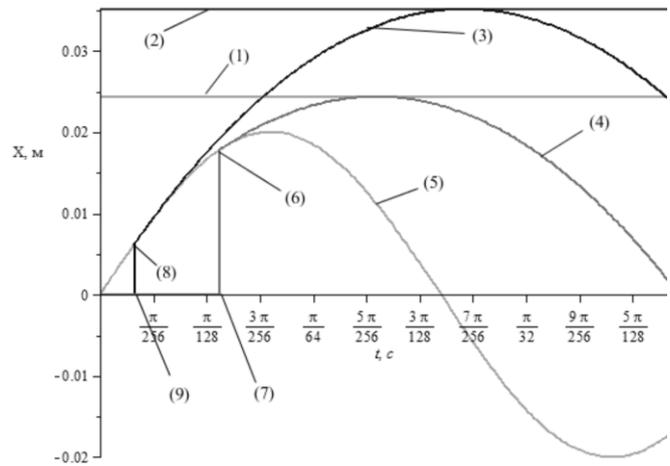


Рисунок 2 – Траектории полета из точек отрыва второго и третьего порядков:  $A = 0,02$  м,  $\omega = 40$  рад/с; 5 – поверхность колебания; 9 – момент времени отрыва траектории 3 в точке 8 отрыва третьего порядка; 7 – момент времени отрыва траектории 4 в точке 6 отрыва второго порядка; 1, 2 – уровни максимального подлета частицы

На рисунках 3 и 4 представлен ряд выявленных зависимостей высоты подлета частицы и фазы отрыва частиц соответственно от частоты и амплитуды колебаний, полученные с помощью аналитических выражений, отражающие связь между кратными режимами подбрасывания из точек отрыва второго и третьего порядков.

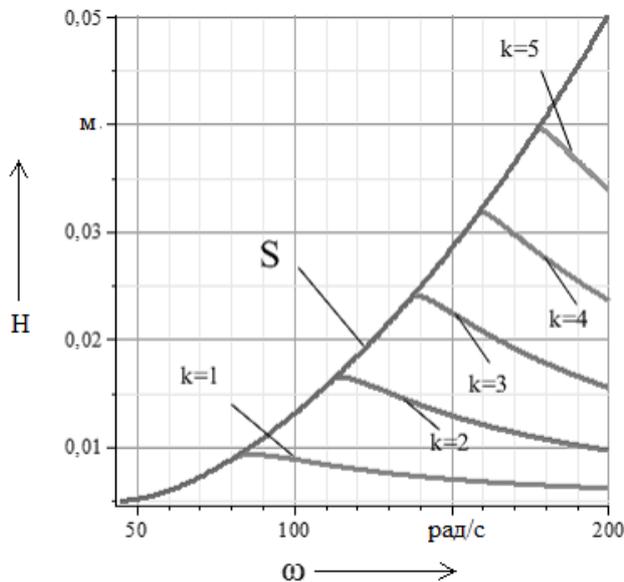


Рисунок 3 – Высота подлета для точек второго и третьего порядков при реализации режима подбрасывания в одно касание: кривая S – высота подлета частицы из области отрыва третьего порядка в зависимости от частоты колебания при фиксированной амплитуде колебания  $A = 5$  мм; кривые  $k = 1, \dots, k = 5$  – графики высоты подлета частиц при отрыве из области отрыва второго порядка

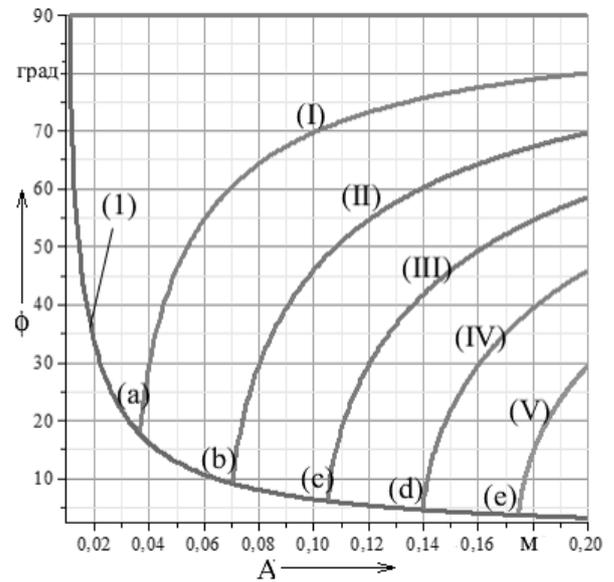


Рисунок 4 – Фазы режимов с перебрасыванием через определенное количество периодов: кривая I – фаза отрыва в градусах для поверхности колебания с частотой 30 рад/с; точки a – e – фаза в градусах для обеспечения отрыва с перебрасыванием через 1, 2, ..., 5 периодов; графики II – V – фазы отрывов из точек второго порядка с перебрасыванием через 1 – 5 периодов колебания поверхности

Аналитический подход на основе функции зазора используется для определения зависимостей характеристик режимов от сил вязкого трения для расширенной математической мо-

дели. Выявлены особенности формирования кратных режимов подбрасывания при наличии сил вязкого трения.

Из полученных аналитических соотношений следует, что при введении дополнительных сил может быть синтезировано большое разнообразие режимов для использования в разработке технологических приложений.

Функция зазора с учетом дифференциальных условий отрыва представляет собой аналитическое отражение всех возможных режимов взаимодействия материальной частицы с вибрирующей поверхностью. Набор таких условий является основой разработки критериев для выбора и оценки траекторий движения материальных частиц.

Использование функции зазора и критериев оценки возможных форм и особенностей траекторий движения материальных частиц с учетом условий взаимодействия с внешней средой представляет собой обобщенный подход, позволяющий вести поисковые разработки в задачах динамического синтеза рациональных вибрационных технологий.

Разработки прошли апробирование рекомендаций на технологической площадке по упрочнению длинномерных деталей одного из предприятий региона. Общая схема вибростенда соответствующего технологического комплекса приведена на рисунке 5. Вибростенд представляет собой жесткую металлическую конструкцию, образованную тремя секциями (1), на которых закрепляются посредством гидроприжимов (7) контейнеры в виде пеналов. В контейнеры засыпаются стальные шарики, работа двигателей (4) приводит к вращению вибраторов (2), движение передается на валы вибраторов через вращение валов синхронизаторов (3).

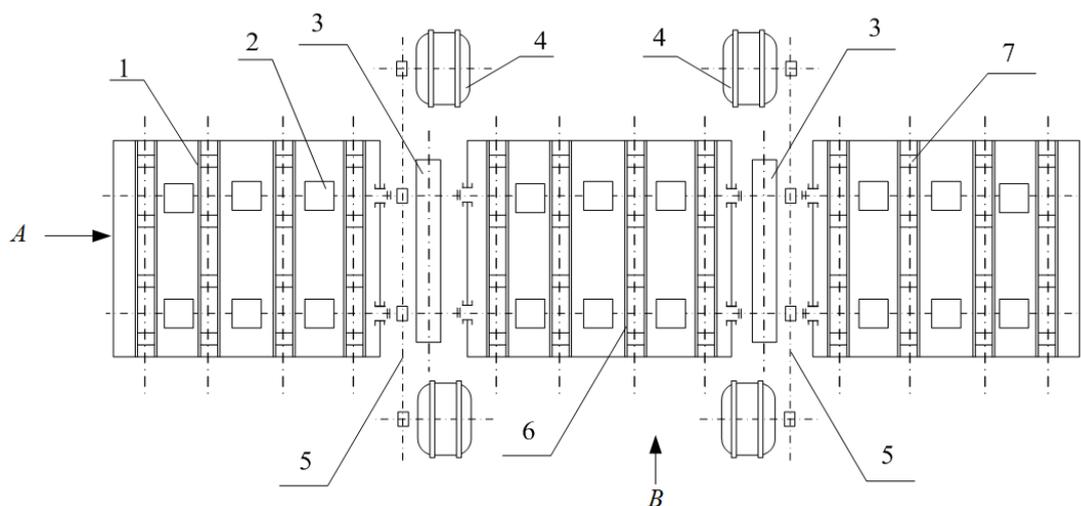


Рисунок 5 – Схема вибростенда: 1 – секция; 2 – вибратор; 3 – синхронизатор; 4 – электродвигатель; 5 – клиноременная передача; 6 – балка; 7 – гидроприжим

На рисунке 6 приводится кинематическая схема вибростенда, образованного тремя секциями, которые опираются на упругие элементы. Изделие помещается в контейнер (1) вместе с гранулированной рабочей средой, масса которой превышает массу изделия более чем в пять раз. Момент вращения от двигателей передается на два вала с вибраторами. Синхронизаторы обеспечивают вращение валов в противоположных направлениях, что приводит к взаимному сокращению горизонтальных компонентов силовых возмущений от вибраторов. Особенностью системы приводов является использование карданных передач (3), которые обеспечивают синхронное вращение каждого из двух валов с противовесами.

При этом каждый вал, проходящий через всю длину вибростенда, состоит из трех частей, связанных карданными передачами. Упругие элементы стенда, расположенные по двум сторонам каждой секции, представляют собой прорезиненные рукава, которые соединяются между собой и с пневмосистемой трубопроводами, что в целом создает пневмомеханическую упругую систему опоры стенда на неподвижную поверхность.

Принципиальная схема упруго-инерционной системы приведена на рисунке 7, а, дающем представление о пространственной структуре динамического взаимодействия рабочей

среды с вибрирующей поверхностью детали. Центр тяжести системы (см. рисунок 7, а) расположен в точке  $O$ . Массоинерционные свойства системы определяются массой  $M$  и моментами инерции  $J$ . Составляющие момента инерции таковы, что в силу симметрии обеспечивается развязка основных видов движения. Система координат расположена в центре тяжести системы. Что касается внешних возмущений, то в общем случае они формируют колебания по всем степеням свободы. С другой стороны, конструктивные средства с помощью специальных упоров (см. рисунок 7, а – контуры  $A$  и  $B$ ) ограничивают движения: поворот вокруг оси  $Z$ , смещение вдоль оси  $X$  по оси  $Y$ .

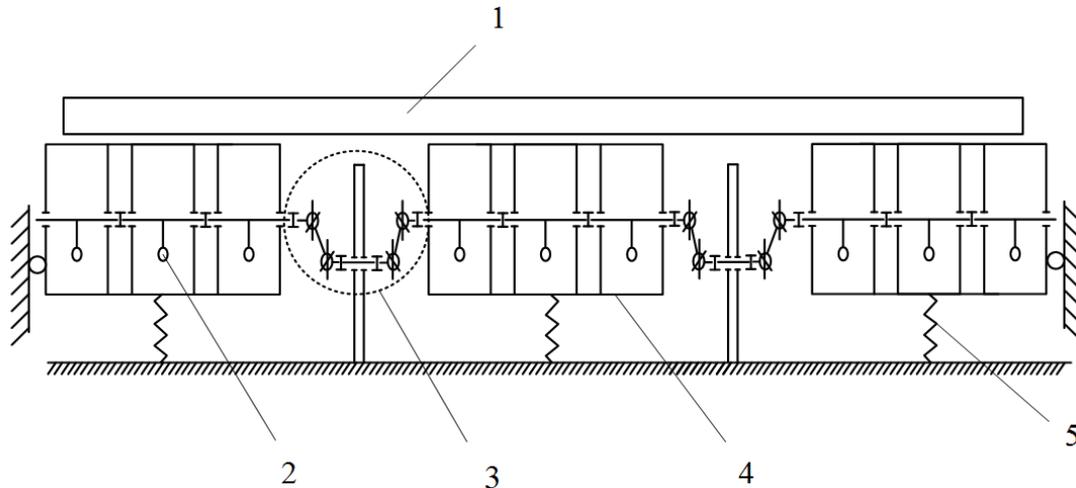


Рисунок 6 – Кинематическая схема вибростенда. Вид В: 1 – контейнер с изделием; 2 – вибратор; 3 – карданные передачи между валами вибратора и валом синхронизатора; 4 – секция вибростенда; 5 – амортизатор

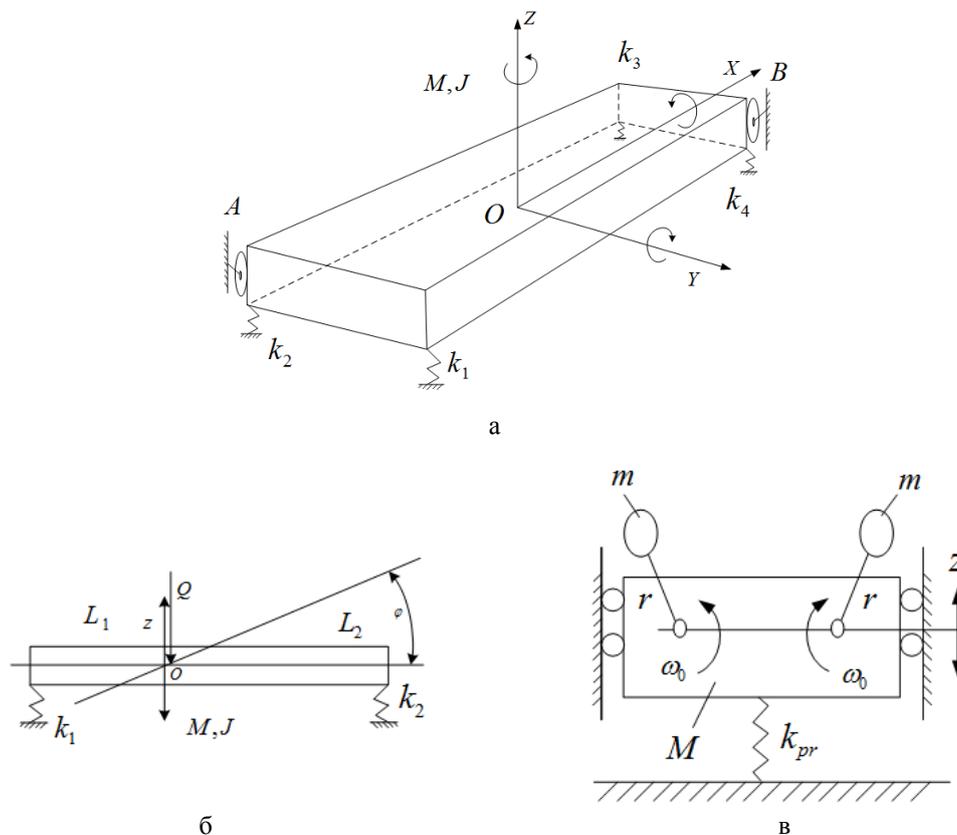


Рисунок 7 – Этапы формирования упрощенных моделей вибростенда: а – принципиальная схема упруго-инерционной системы; б – упрощенная принципиальная расчетная схема вибростенда с двумя координатами –  $z$  и  $\varphi$ ; в – схема вибростенда в реализации вертикальных колебаний

Таким образом, в силу специально введенных ограничений система обладает тремя степенями свободы: вертикальное движение по координате  $z$ , поворот вокруг оси  $Y$ , поворот вокруг оси  $X$ . Реальное движение каждой точки вибростола, если иметь в виду его доминирующие формы, определяется суммой компонентов движения, формируемых общими вертикальными перемещениями по оси  $Z$ , и локальными вертикальными компонентами, формируемыми от поворотов вокруг осей  $X$  и  $Y$ .

На рисунке 7, б показана упрощенная расчетная схема, отражающая движение системы с двумя степенями свободы. Такая схема может рассматриваться в качестве основной, но и она может быть упрощена, как показала обработка экспериментальных данных, что было сделано на основе построения матрицы коэффициентов взаимной корреляции сигналов шести датчиков, расположенных симметрично по периметру вибростола. Таким образом, в силу конструктивно-технических ограничений и особенностей системы инерционного вибрационного возмущения колебаний доминирующей формой является вертикальная. С учетом изложенного расчетная схема, приведенная на рисунке 7, в, может рассматриваться как упрощенная расчетная схема вибростенда с доминантой вертикальных колебаний.

Данные для обобщений были получены на основании экспериментальных измерений, которые проводились на вибрационной технологической машине. В составе измерительного комплекса использовались сейсмическая станция ВУ-8 («Байкал-8»), набор датчиков и программное обеспечение для отображения и обработки сигналов. Для получения данных в соответствии с программой эксперимента шесть датчиков размещались на секции вибростенда (рисунок 8) и синхронизаторе (рисунок 9). По результатам серии производственных циклов упрочнения были произведены записи сигналов по синхронным шести каналам.

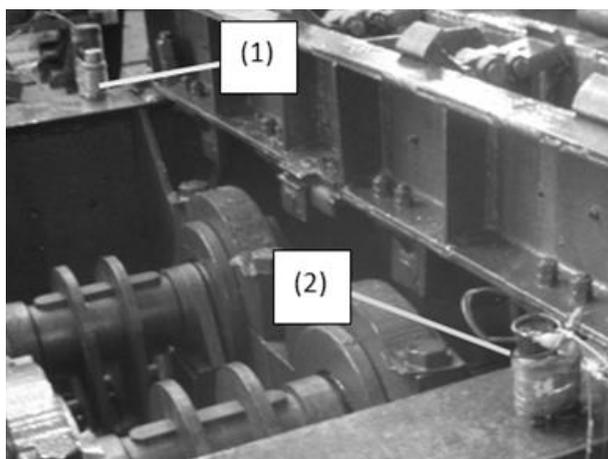


Рисунок 8 – Установка датчиков на секции вибростенда: 1, 2 – датчики из комплекта ВУ-8

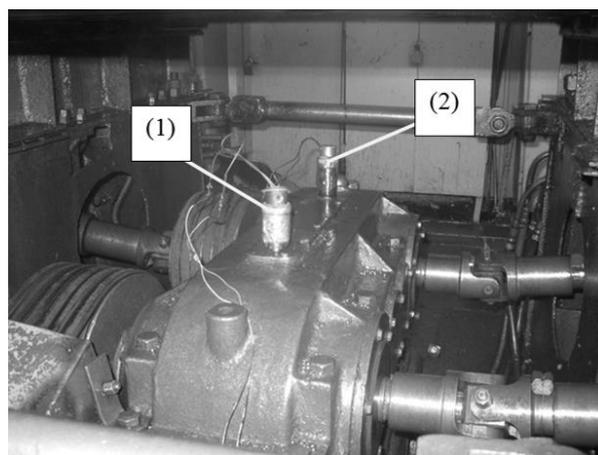


Рисунок 9 – Установка датчиков на синхронизатор вибростенда: 1, 2 – датчики из комплекта ВУ-8

Подробности составления Расчетных схем и математических моделей, особенности режимов работы и мероприятий по их стабилизации для вибрационных технологических машин по упрочнению длинномерных деталей транспортных машин представлены в работе [10].

Проведенные исследования позволяют развить теоретический базис в задачах оценки формирования семейств траекторий движения материальных частиц, удовлетворяющих таким критериям, как наличие кратных соотношений между временем подлета и периодом колебания поверхности, влияние отклонений в возможностях отрыва в нужной фазе, нестабильность траектории при отрыве с учетом действия дополнительных внешних факторов и др. Определены и развиты аналитические подходы в оценке возможностей вибрационных технологических процессов с непрерывным подбрасыванием рабочей среды. Разработан обобщенный подход для задач динамического синтеза вибрационных технологий, реализуемых в режимах непрерывного подбрасывания. Основой подхода является введение понятия о функции зазора, позволяющей обосновать построение траекторий движений материальных

частиц в соответствии с определенными критериями, отражающими свойства траекторий движения материальных частиц во взаимодействии с вибрирующей поверхностью.

Механизмы динамического взаимодействия, возникающие при появлении неустойчивых связей в случае возникновения их регуляризации могут стать основой разработки технологий повышения прочности поверхностного слоя деталей, подвергающихся интенсивным динамическим нагрузкам, включая детали транспортных машин.

## Список литературы

1. Пановко, Г. Я. Динамика вибрационных технологических процессов [Текст] / Г. Я. Пановко / НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных технологий. – М.-Ижевск, 2006. – 176 с.
2. Копылов, Ю. Р. Динамика процессов виброударного упрочнения: Монография [Текст] / Ю. Р. Копылов. – Воронеж: Научная книга, 2011. – 568 с.
3. Елисеев, С. В. Математические модели динамики вибрационных взаимодействий элементов технологических систем с учетом неустойчивых связей [Текст] / С. В. Елисеев, А. В. Елисеев / Иркутский гос. ун-т путей сообщения. – Иркутск, 2015. – 158 с.
4. Вибрации в технике: Справочник: В 6 т. Вибрационные процессы и машины [Текст] / Под ред. Э. Э. Лавенделла. – М.: Машиностроение, 1981. – Т. 4. – 504 с.
5. Обобщенный подход в математическом моделировании взаимодействий твердого тела с вибрирующей поверхностью [Текст] / А. В. Елисеев, В. В. Сельвинский и др. / Иркутский гос. ун-т путей сообщения. – Иркутск, 2015. – 161 с.
6. Ситов, И. С. Теоретические основы процессов взаимодействия материальной частицы с вибрирующей поверхностью с неустойчивыми связями [Текст] / И. С. Ситов, А. В. Елисеев // Системы. Методы. Технологии / Братский гос. ун-т. – Братск. – 2012. – № 4 (16). – С. 17 – 28.
7. Елисеев, А. В. Вибрационные режимы взаимодействия сыпучей среды и вибрирующей поверхности с учетом неустойчивых связей: математические модели, формы взаимодействия, факторы реализации [Текст] / А. В. Елисеев // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование / Иркутский гос. ун-т путей сообщения. – Иркутск. – 2015. – № 1 (45). – С. 29 – 37.
8. Елисеев А. В. Особенности реализации режима кратного подбрасывания в модельной задаче с неустойчивой связью при наличии вязкого трения [Текст] // Наука в центральной России / ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии. – Тамбов. – 2013. – № 2. – С. 42 – 47.
9. Елисеев, С. В. Исследование взаимодействия материальной частицы с вибрирующей поверхностью при наличии силы вязкого трения в модельной задаче с неустойчивыми связями [Текст] / С. В. Елисеев, А. В. Елисеев // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование / Иркутский гос. ун-т путей сообщения. – Иркутск. – 2013. – № 1. – С. 69 – 77.
10. Неустойчивые связи в динамических взаимодействиях сыпучей среды и вибрирующей поверхности: научно-методологическое обоснование технологии вибрационного упрочнения [Текст] / А. В. Елисеев, А. Г. Пнев и др. // Системы. Методы. Технологии / Братский гос. ун-т. – Братск. – 2014. – № 3 (23). – С. 17 – 31.

## References

1. Panovko G. Y. *Dinamika vibracionnyh tehnologicheskikh processov* (Dynamics of vibrating processes). Moscow-Izhevsk: Institute of Computing Technology, 2006, 176 p.
2. Kopylov Y. R. *Dinamika processov vibroudarnogo uprochnenija: monografija* (The dynamics of the processes of vibrohardening). Voronezh: Science Book, 2011, 568 p.
3. Eliseev S. V. *Matematicheskie modeli dinamiki vibracionnyh vzaimodeistvii yelementov tehnologicheskikh sistem s uchetom neuderzhivayushih svyazei* (Mathematical models of the dynamics of interactions of vibrating elements of technological systems based on unilateral constraints). Irkutsk: ISTU, 2015, 158 p.

4. *Vibracii v tehnikе : spravochnik v 6 tomah. Vibracionnyye processy i mashiny* (Vibration technique: a guide in 6 volumes. Vibrating machines and processes). Moscow: Mechanical engineering, 1981, Vol. 4, 504 p.

5. Eliseev A. V., Selvinsky V. V., Eliseev S. V., Sitov I. S. *Obobshennyi podhod v matematicheskoy modelirovaniy vzaimodeistvii tverdogo tela s vibriruyushei poverhnost'yu* (A generalized approach to the mathematical modeling of the interactions of a solid with a vibrating surface). Irkutsk, 2015, 161 p.

6. Sitov I. S. Theoretical basis of processes of interaction of a particle with a vibrating surface with unilateral constraints [Teoreticheskie osnovy processov vzaimodeistviya material'noi chasticy s vibriruyushei poverhnost'yu s neuderzhivayushimi svyazjami]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii – Systems. Methods. Technologies*, 2012, no 4 (16), 17 – 28 p.

7. Eliseev A. V. The vibration modes of interaction between the granular medium and the vibrating surface with the unilateral constraints: mathematical models, forms of cooperation, the implementation of the factors [Vibracionnyye rezhimy vzaimodeistviya sypuchej sredy i vibriruyushei poverhnosti s uchetom neuderzhivayushih svyazei: matematicheskie modeli, formy vzaimodeistviya, faktory realizacii]. *Sovremennyye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie – Modern technologies. System analysis. Modeling*, 2015, no 1 (45), 29 – 37 p.

8. Eliseev A. V. Features of realization of multiple flip mode in the model problem with unilateral constraints in the presence of viscous friction [Osobennosti realizacii rezhima kratnogo podbrasyvaniya v model'noi zadache s neuderzhivayushei svyaz'yu pri nalichii vjazkogo treniya]. *Nauka v tsentral'noi Rossii – Science in Central Russia*, 2013, no 2, 42 – 47 p.

9. Eliseev A. V. Investigation of the interaction of a particle with a vibrating surface in the presence of viscous forces in a model problem with unilateral constraints [Issledovanie vzaimodeistviya material'noi chasticy s vibriruyushei poverhnost'yu pri nalichii sily vjazkogo treniya v model'noi zadache s neuderzhivayushimi svyazjami] *Sovremennyye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie – Modern technologies. System analysis. Modeling*, 2013, no 1., 69 – 77 p.

10. Eliseev A. V., Pnev A. G., Kashuba V. B., Sitov I. S. Unilateral constraints in the dynamic interaction of the granular medium and the vibrating surface: scientific and methodological basis of the vibration technology hardening [Neuderzhivayushie svyazi v dinamicheskikh vzaimodeistviyah sypuchej sredy i vibriruyushei poverhnosti: nauchno-metodologicheskoye obosnovanie tehnologii vibracionnogo uprochneniya]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii – Systems. Methods. Technologies*, 2014, no 3 (23), 17 – 31 p.

УДК 629.42:629.4.054, 625.28

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛОКОМОТИВНОЙ ТЯГИ НА РАВНИННОМ УЧАСТКЕ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

**Аблялимов Олег Сергеевич**

Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта (ТашИИТ).

100167, г. Ташкент, Миробадский район, ул. Адылходжаева, 1, Республика Узбекистан.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство», ТашИИТ.

Тел.: (81099871) 299-03-94.

E-mail: icenter@tashiit.uz

*Представлены результаты исследований по оценке эффективности использования локомотивов дизельной (тепловозы 3ТЭ10М, UzTE16M3) и электрической (электровозы 3ВЛ80С) тяги на равнинном участке железной дороги методом осреднения расчетных величин. Приведены усредненные значения основных показателей перевозочной работы исследуемых локомотивов 3ТЭ10М, UzTE16M3 и 3ВЛ80С в виде табличных данных и графических зависимостей, представляющие собой среднеарифметические величины с учетом движения грузовых поездов без остановок и с остановками на промежуточных станциях, разъездах и отдельных пунктах, которые были получены в результате выполненных тяговых расчетов для различных условий организации грузового движения. Обозначены уравнения регрессии для организации вычисления значений упомянутых показателей в принятом диапазоне изменения масс составов.*

Ключевые слова: исследование, результат, грузовой поезд, движение, тепловоз, железнодорожный путь, участок, эксплуатация, условие, направление, этап, скорость, расчет, подвижной состав, анализ, равнинный, оценка, станция, представить, пункт, средний, зависимость, обоснование, качество, перегон, профиль.

## THE ANALYSES OF EFFICIENCY OF USE OF THE LOCOMOTIVE TRACTION ON THE PLAINLY DIRECTION OF RAILWAY TRACK.

**Ablyalimov Oleg Sergeevich**

Tashkent Institute of Railway Transport Engineers (TIRTE).

Ph. D., assistant professor of the department «Lokomotives and locomotive economy», TIRTE.

1, Mirobad region, Adilkhodjaev str., Tashkent, 100167, Republik of Uzbekistan.

Phone: (81099871) 299-03-94.

E-mail: icenter@tashiit.uz

*The introduced results of the investigation by valuation of efficiency the employment of the locomotives of the diesel (the diesel locomotives 3TE10M, UzTE16M3) and of the electrical (the electric locomotives 3VL80<sup>S</sup>) tractions in the plainly direction of railway track by the method of averaging design values. Modified average significances main indicator move working of the investigations of the diesel locomotives 3TE10M, UzTE16M3 of the evaluation mind numeral and table facts, and also graphic arts dependences, representative oneself arithmetical mean value with taking into account of the movement goods trains without any stops and with stops on the spaces stations, passing - tracks and divides points, which have received in the result to uses of the traction calculation for different conditions organization of the goods movement. Designate equations for organization calculation values mention exponents in the accepted range changing of the masses trains.*

Keywords: *investigation, result, the goods train, movement, the diesel locomotive, railway track, the direction, exploitation, condition, direction, the stage, the speed, calculation, rolling – stock, analyses, plainly, valuation, the station, present, introduce, point, divide, average, dependence, quality, substantiation, receive, profile, significance.*

УДК 629.421 (621.436+621.313.12)

## **ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА РАБОТУ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ТЕПЛОВОЗА И ЕГО АГРЕГАТОВ**

**Белоглазов Анатолий Кузьмич**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Локомотивы», ОмГУПС.

E-mail: BeloglazovAK-Lok@mail.ru

**Носков Виталий Олегович**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Аспирант кафедры «Локомотивы», ОмГУПС.

E-mail: NoskovVO@omgups.ru

**Чулков Алексей Владимирович**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Локомотивы», ОмГУПС.

*В статье рассмотрены режимы охлаждения и нагрева отдельных узлов и агрегатов тепловозного дизеля в условиях низкой температуры окружающего воздуха. Значительное внимание уделено описанию характерных особенностей интенсивности охлаждения водяной системы тепловозного дизельного двигателя. Представлены результаты исследования влияния температуры наружного воздуха, эксплуатационных режимов нагрузки и холостого хода на работу системы охлаждения тепловоза. Приведены параметры охлаждающей воды и моторного масла, характеризующие тепловые режимы работы дизеля. Рассмотрены и проанализированы различные способы прогрева систем тепловозного дизеля с использованием бортовых и стационарных устройств. Цель статьи – предложить способы повышения эффективности использования дизельного топлива при прогреве тепловоза за счет снижения времени работы дизеля на холостом ходу.*

Ключевые слова: *дизельный двигатель, холостой ход, теплообмен, коэффициент теплоотдачи, система охлаждения дизеля, тепловоз, прогрев, температура.*

## **AMBIENT TEMPERATURE OF THE COOLING SYSTEM ON DIESEL AND UNITS**

**Beloglazov Anatoly Kuzmich**

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Ph. D., associate professor of the department «Locomotives», OSTU.

E-mail: BeloglazovAK-Lok@mail.ru

**Noskov Vitalii Olegovich**

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Post-graduate student of the department «Locomotives», OSTU.

E-mail: NoskovVO@omgups.ru

**Chulkov Alexey Vladimirovich**

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Ph. D., associate professor of the department «Locomotives», OSTU.

*The article deals with the cooling and heating of individual components and assemblies diesel engines at low ambient temperatures. The more attention is paid to the description of the characteristics of the intensity of the cooling water system of diesel locomotive engines. The article presents the results of investigation of the outdoor temperature, operating conditions of load and no-load on the cooling system of. The parameters of the cooling water and engine oil that characterize the thermal conditions of the diesel engine. We reviewed and analyzed various ways of warming systems, diesel engines using airborne and stationary devices. The work is aimed at improving the efficiency of diesel locomotive at warming by reducing the operating time of the diesel engine is idling.*

**Keywords:** *diesel engine, idling, heat transfer, heat transfer coefficient, the cooling system of a diesel engine, diesel, heating temperature.*

УДК 629.423.33:621.336.3

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ СКОРОСТНЫХ ТОКОПРИЕМНИКОВ

**Заренков Семен Валерьевич**

Общество с ограниченной ответственностью «Техносканер».

644042, г. Омск, пр. Маркса, 41, офис 327.

Кандидат технических наук, директор ООО «Техносканер».

E-mail: svz-05@mail.ru

**Чертков Иван Евгеньевич**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение железнодорожного транспорта», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-34-46.

E-mail: chertkov\_ivan@mail.ru

*В статье рассмотрены новые разработки в области надежности работы скоростных токоприемников. Приведено описание принципа работы предохранительных устройств токоприемника нового поколения, рассмотрена методика и приведены результаты расчета характеристик и параметров предохранительных устройств. Представлена методика испытаний предохранительных устройств токоприемника на ударно-колебательном комплексе для исследования взаимодействия токоприемника с контактной сетью.*

Ключевые слова: *контактная подвеска, токоприемник, предохранительное устройство, контактный элемент, система подвижных рам, препятствие, опускание, отклонение.*

## IMPROVEMENT OF SAFETY DEVICES OF HIGH-SPEED CURRENT COLLECTORS

### **Zarenkov Semyon Valeryevich**

Limited Liability Company «Tehnoskaner»  
Office 327, 41, Marx av., Omsk, 644042, Russia.  
Ph. D., director of «Tehnoskaner» LLC  
E-mail: svz-05@mail.ru

### **Chertkov Ivan Evgenyevich**

Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.  
Ph. D., assistant professor of the department «Electricity railway transport», OSTU.  
Phone: (3812) 31-34-46.  
E-mail: chertkov\_ivan@mail.ru

*Now the problem of development of the high-speed and high-speed movement on the main railway transport that is connected by increase of traffic safety of trains and ensuring reliable work of contact suspension brackets and current collectors of an electrorolling stock is actual. For increase of reliable work of current collectors there are some ways one of which is creation of the safety devices which are built in a design of current collectors and providing their automatic lowering in emergencies.*

*In Omsk State Transport University the current collector equipped with safety devices of new generation on the basis of the operated pneumatic devices and providing protection at failure or the increased wear of contact elements, and also breakages of a runner is developed; at rise on height of more admissible at departure of an electrorolling stock for the sign «End of a Contact Suspension Bracket» or break of contact wires; at blows and arrivals on obstacles in a contact suspension bracket.*

*For control and management of operation of safety devices the protective pneumatic contour located on the basis of a current collector in the special case is used.*

*At operation of one of safety devices there is a depressurization of the pneumohighway of a protective contour therefore pressure of compressed air the drive of a current collector decreases and it falls under the influence of own gravity. Restoration of a current collector possibly only in the conditions of depot or point of maintenance of locomotives.*

*Calculation of characteristics and parameters of the device of protection at blows and arrivals on obstacles in a contact suspension bracket needs to be carried out by the given technique for zones of normal, dangerous and emergency work.*

*For an assessment of operability of safety devices and definition of their main technical indicators and parameters in laboratory of OSTU the shock and oscillatory complex is developed for research of interaction of a current collector with a contact network.*

Keywords: *contact suspension bracket, current collector, safety device, contact element, system of movable frames, obstacle, lowering, deviation.*

УДК 629.4 (23.3:.064.5)

## ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ АСИНХРОННЫХ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МАШИН ЭЛЕКТРОВЗОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА ВСЖД

**Иванов Павел Юрьевич**

Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС).  
664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15.  
Ассистент кафедры «Электроподвижной состав», ИрГУПС.  
E-mail: Savl.ivanov@mail.ru

**Дульский Евгений Юрьевич**

Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС).  
664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15.  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроподвижной состав», ИрГУПС.  
E-mail: E.Dulskiy@mail.ru

**Романовский Александр Игоревич**

Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС).  
664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15.  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроподвижной состав», ИрГУПС.  
E-mail: leex-38@rambler.ru

*В данной статье проанализированы условия работы асинхронных вспомогательных машин (АВМ) электровозов переменного тока, в основном эксплуатируемых на сети Восточно-Сибирской железной дороги (ВСЖД). Представлены экспериментальные данные по зависимости фазных токов двигателя АНЭ225 электровоза ВЛ85 от величины напряжения питания, продолжительность пуска МК с асинхронным двигателем в зависимости от напряжения контактной сети, изменение момента сопротивления компрессора в зависимости от температуры воздуха. Рассмотрены особенности работы АВМ, в частности их очередной запуск от обмотки собственных нужд тягового трансформатора. Проведена систематизация условий эксплуатации, воздействующих на изоляцию АВМ с целью оптимизации параметров слежения за темпом их износа, в результате которой выделено два основных фактора старения изоляции – перегревы и вибрация – и один фактор, повышающий вероятность отказа независимо от степени старения изоляции – ее увлажненность.*

Ключевые слова: асинхронные вспомогательные машины, надежность, изоляция, несимметрия, вибрация, пониженное напряжение.

## PERFORMANCE FEATURES ASYNCHRONOUS ELECTRIC LOCOMOTIVE AUXILIARY MACHINES AC ON EAST SIBERIAN LINE

**Ivanov Pavel Yurievich**

Irkutsk State Transport University (ISTU).  
15, Chernyshevsky st., Irkutsk, 664074, Russia.  
Assistant of the department «Electrorolling stock», ISTU.  
E-mail: Savl.ivanov@mail.ru

**Dulsky Evgeny Yurievich**

Irkutsk State Transport University (ISTU).

15, Chernyshevsky st., Irkutsk, 664074, Russia.

Ph. D., teacher of the department «Electrorolling stock», ISTU.

E-mail: E.Dulskiy @ mail.ru

**Romanovsky Alexander Igorevich**

Irkutsk State Transport University (ISTU).

15, Chernyshevsky st., Irkutsk, 664074, Russia.

Ph. D., teacher of the department «Electrorolling stock», ISTU.

E-mail: leex-38@rambler.ru

*This article analyzes the conditions of work of asynchronous auxiliary machines (AVM) electric AC, mainly operated on the network of the East-Siberian railway. Presented the experimental data on the dependence of the motor phase currents ANE 225 locomotive VL 85 on the value of the supply voltage, the duration of start – MC with an induction motor, depending on the voltage of contact network, change the moment of resistance of the compressor depending on the air temperature. Reviewed the features work of the AVM, in particular, their alternate launch of its own needs winding of traction transformer. As a result of systematization of operating conditions affecting the isolation of AVM in order to optimize the parameter tracking their rate of wear, which resulted in the allocated two major factors of aging insulation overheating and vibration, and one factor that increases the probability of failure, regardless of the degree of aging of insulation - it moisturized.*

Keywords: asynchronous auxiliary machines, reliability, insulation, unbalance, vibration, reduced voltage.

УДК 629.4.027.4.004.58

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ КОЛЕСНО-МОТОРНЫХ БЛОКОВ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ

**Костюков Владимир Николаевич**

Общество с ограниченной ответственностью «НПЦ «Динамика» – «Научно-производственный центр «Диагностика, надежность машин и комплексная автоматизация» ООО «НПЦ «Динамика».

644043, г. Омск, ул. Нефтезаводская, 53.

Доктор технических наук, профессор, председатель совета директоров, научный руководитель, главный конструктор, НПЦ «Динамика».

Тел.: (3812) 25-42-44, (3812) 25-43-72.

E-mail: post@ynamics.ru

**Казарин Денис Викторович**

Общество с ограниченной ответственностью «НПЦ «Динамика» – «Научно-производственный центр «Диагностика, надежность машин и комплексная автоматизация» ООО «НПЦ «Динамика».

644043, г. Омск, ул. Нефтезаводская, 53.

Кандидат технических наук, заместитель начальника департамента поддержки и продвижения систем, НПЦ «Динамика».

Тел.: (3812) 25-42-44, (3812) 25-43-72.

E-mail: post@dynamics.ru

## **Костюков Алексей Владимирович**

Общество с ограниченной ответственностью «НПЦ «Динамика» – «Научно-производственный центр «Диагностика, надежность машин и комплексная автоматизация» ООО «НПЦ «Динамика».

644043, г. Омск, ул. Нефтезаводская, 53.

Кандидат технических наук, первый заместитель генерального директора – технический директор, НПЦ «Динамика».

Тел.: (3812) 25-42-44, (3812) 25-43-72.

E-mail: post@dynamics.ru

## **Зайцев Андрей Валерьевич**

Общество с ограниченной ответственностью «НПЦ «Динамика» – «Научно-производственный центр «Диагностика, надежность машин и комплексная автоматизация» ООО «НПЦ «Динамика».

644043, г. Омск, ул. Нефтезаводская, 53.

Научный сотрудник, НПЦ «Динамика».

Тел.: (3812) 25-42-44, (3812) 25-43-72.

E-mail: post@dynamics.ru

*В статье приведены результаты экспериментальных исследований диагностических признаков узлов колесно-моторных блоков (КМБ) от частоты вращения колесной пары. Определены параметры распределения диагностических признаков и предложен способ, обеспечивающий повышение достоверности диагностирования КМБ электропоездов.*

Ключевые слова: системы диагностики, железнодорожный транспорт, колесно-моторные блоки, безопасность.

## **IMPROVEMENT OF DIAGNOSTIC PROVISION FOR WHEEL-MOTOR UNITS OF ELECTRIC TRAINS**

### **Kostyukov Vladimir Nikolaevich**

Scientific production company «Dynamics» – «Diagnostics, reliability of machinery and complex automation», SPC «Dynamics».

53, Neftezavodskaya av., Omsk, 644043, Russia.

Doctor of technical science, professor, russian federation government award-winner, research supervisor, chief of executive board, SPC «Dynamics».

Phone: (3812) 25-42-44, (3812) 25-43-72.

E-mail: post@dynamics.ru

### **Kazarin Denis Viktorovich**

Scientific production company «Dynamics» – «Diagnostics, reliability of machinery and complex automation», SPC «Dynamics».

53, Neftezavodskaya av., Omsk, 644043, Russia.

Ph. D., the deputy head of the department of systems support and promotion, SPC «Dynamics».

Phone: (3812) 25-42-44, (3812) 25-43-72.

E-mail: post@dynamics.ru

**Kostyukov Alexey Vladimirovich**

Scientific production company «Dynamics» – «Diagnostics, reliability of machinery and complex automation», SPC «Dynamics».

53, Neftezavodskaya av., Omsk, 644043, Russia.

Ph. D., first deputy director general, a technical director, SPC «Dynamics».

Phone: (3812) 25-42-44, (3812) 25-43-72.

E-mail: post@dynamics.ru

**Zaytsev Andrey Valeryevich**

Scientific production company «Dynamics» – «Diagnostics, reliability of machinery and complex automation», SPC «Dynamics».

53, Neftezavodskaya av., Omsk, 644043, Russia.

Research associate, SPC «Dynamics».

Phone: (3812) 25-42-44, (3812) 25-43-72.

E-mail: post@dynamics.ru

*The results of experimental research on the diagnostic features of wheel-motor unit assemblies dependence on the speed of the wheel-pair. The parameters of the distribution of diagnostic features are given and a method of providing higher reliability of diagnostics of electric train WMU is provided.*

Keywords: *diagnostic system, railway transport, wheel-motor units, safety.*

УДК 620.192.64: 543.423.1

## АНАЛИТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ АЭС СПЕКТРОМЕТРИИ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ КОНТРОЛЕ ДЕФЕКТОВ РЕЛЬСОВОГО ПУТИ

**Кузнецов Андрей Альбертович**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Доктор технических наук, профессор кафедры «Теоретическая электротехника», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-06-88.

E-mail: kuznetsovaa@omgups.ru

**Рауба Александр Александрович**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Доктор технических наук, профессор кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава», ОмГУПС.

E-mail: aleksandr\_rauba@mail.ru

**Дюндин Вадим Владимирович**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Аспирант кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава», ОмГУПС.

E-mail: vaddyu174@mail.ru

*Работа посвящена исследованию связи изменения параметров спектрального излучения рельсовой стали, полученных методом атомно-эмиссионной спектроскопии (АЭС) в среде аргона на эмиссионном спектрометре «Аргон-5СФ», с ее физико-механическими свойствами. Выполнен количественный анализ и построена многомерная градуировка с описанием спектральных линий, коррелирующих с изменением твердости стали. Полученные результаты могут быть использованы для расширения возможностей приборов атомно-эмиссионного спектрального анализа.*

Ключевые слова: диагностика, рельсовая сталь, твердость, спектральный анализ, спектральные линии, градуировочный график.

## **ANALYTICAL CAPABILITIES FOR COMPLEX AES SPECTROMETRY FOR THE CONTROL DEFECTS RAIL TRACK**

### **Kuznetsov Andrey Albertovich**

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Dr. Tech. Sci., professor of the department «Theoretical the electrical engineer», OSTU.

Phone: (3812) 31-06-88.

E-mail: kuznetsovaa@omgups.ru

### **Rauba Alexander Alexandrovich**

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Dr. Tech. Sci., professor of the department «Technology of transport engineering and repair rolling stock», OSTU.

E-mail: aleksandr\_rauba@mail.ru

### **Dyundin Vadim Vladimirovich**

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Post-graduate student of the department «Technology of transport engineering and repair rolling stock», OSTU.

E-mail: vaddyu174@mail.ru

*The aim of the work, the results of which are presented in this article, is to a study of the impact of physical and mechanical properties of rail steel on the parameters of the spectrum emission. The experimental results were obtained by method of atomic emission spectroscopy (AES) in argon. Performed quantitative analysis material of the rail steel and built a multi-dimensional graduations of the description of the spectral lines correlate with changes in the hardness of steel. The results can be used to extend the capabilities of devices atomic-emission spectral analysis.*

Keywords: diagnosis, rail steel, hardness, spectral analysis, spectral lines, the calibration curve.

УДК 629.4

## **НЕКОТОРЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ «ЖЕСТКОЙ» ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ, ОПИСЫВАЮЩЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОЛЕСА И РЕЛЬСА**

### **Нехаев Виктор Алексеевич**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Доктор технических наук, профессор кафедры «Теоретическая механика», ОмГУПС.

E-mail: nekhaevVA@omgups.ru

Тел.: (3812) 37-60-82.

## **Николаев Виктор Александрович**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Доктор технических наук, профессор кафедры «Теоретическая механика», ОмГУПС.

E-mail: nekhaevVA@omgups.ru

Тел.: (3812) 37-60-82.

*В статье изложена методика исследования «жесткой» математической модели, описывающей взаимодействие колеса локомотива и рельса с учетом гипотезы Ф. Картера. На основе применения теоремы Н. А. Тихонова выведено дифференциальное уравнение для определения скорости проскальзывания колесной пары по рельсам. Получена зависимость определения времени установления процесса кинематического проскальзывания колесной пары по рельсам от скоростей центра колеса и локомотива, от инерционных характеристик поезда и колесной пары, а также от коэффициента кривизны, момента вращения, приложенного к колесной паре, и от состояния поверхностей рельсов.*

Ключевые слова: «жесткая» математическая модель взаимодействия колеса с рельсом, гипотеза Ф. Картера, «медленные» и «быстрые» переменные, постоянные времени, кривизна, скорость колеса, масса поезда, сцепление колеса с рельсом.

## **SOME MATHEMATICAL ASPECTS OF RESEARCH «RIGID» DYNAMIC MODEL, DESCRIBING THE INTERACTION BETWEEN WHEEL AND RAIL**

### **Nekhaev Viktor Alekseevich**

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Dr. Sci. Tech., professor of the department «Theoretical Mechanics», OSTU.

E-mail: nekhaevVA@omgups.ru

Phone: (3812) 37-60-82.

### **Nikolaev Viktor Aleksandrovich**

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Dr. Sci. Tech., head of the department «Theoretical Mechanics», OSTU.

E-mail: nekhaevVA@omgups.ru

Phone: (3812) 37-60-82.

*The article sets out the methodology of the study of a rigid mathematical model describing locomotive wheel and rail interaction, taking into account the hypothesis f. Carter. On the basis of the application of the theorem N.A. Tikhonova derived the differential equation for determining the rate of slippage of wheel pair on Rails. Determine the time dependence for the establishment of a process of kinematic slippage of wheel pair on Rails from the wheel speeds and locomotive, from inertial characteristics of trains and the wheel, as well as the coefficient of creep, annexed to the torque of wheel pair and the State of the surfaces of the Rails.*

Keywords: *rigid mathematical model of interaction with rail wheels,, hypothesis F. Carter, slow and fast variables, constant time, creep, wheel speed, train weight, grip rail wheels.*

УДК 629.4

## **ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ РЕМОНТА ДЕТАЛЕЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА С УЧЕТОМ РАЗМЕРНЫХ СВЯЗЕЙ СБОРОЧНОЙ ЕДИНИЦЫ**

**Смолянинов Владимир Сергеевич**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава», ОмГУПС.

E-mail: smolyan@bk.ru

**Смолянинов Антон Владимирович**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава», ОмГУПС.

E-mail: smolyan@bk.ru

*В статье приведено обоснование использования размерной координации рабочих поверхностей корпусов буксовых узлов экипажной части грузовых вагонов в системе тележки модели 18-100 с целью определения конструктивных параметров технологического приспособления, используемого для выполнения операции механической обработки поверхностей после нанесения покрытий, обеспечивающих компенсацию износов. Обоснованы параметры технологического приспособления. Приведено в общем виде конструктивное решение.*

Ключевые слова: *тележка грузового вагона, ремонт, размерные цепи, наплавка, механическая обработка, приспособление.*

## **JUSTIFICATION OF DESIGN PARAMETERS TOOLING FOR REPAIR OF PARTS ROLLING STOCK WITH REGARD TO DIMENSIONAL RELATIONSHIPS ASSEMBLY UNITS**

**Smolyaninov Vladimir Sergeevich**

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Ph. D., associate professor of the department «Technology of transport engineering and repair rolling stock», OSTU.

E-mail: smolyan@bk.ru

**Smolyaninov Anton Vladimirovich**

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Ph. D., associate professor of the department «Technology of transport engineering and repair rolling stock», OSTU.

E-mail: smolyan@bk.ru

*The article describes the case of using the dimensional coordination of the working surfaces of housings of the vehicle-axle boxes of freight cars in the truck mod. 18-100 to determine the design parameters of the technological tools used to perform the machining operation surfaces after coating to ensure wear compensation. The parameters of technological devices grounded. Powered generally constructive solution.*

Keywords: freight car truck, repair, dimensional chain, welding, machining, tool.

УДК 620.192.63

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОМПЛЕКСНОЙ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ**

**Харламов Виктор Васильевич**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).  
644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электрические машины и общая электротехника», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-18-27.

E-mail: emoe@omgups.ru

**Шкодун Павел Константинович**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).  
644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрические машины и общая электротехника», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-18-27.

E-mail: emoe@omgups.ru

**Шестаков Игнат Валентинович**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).  
644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Аспирант кафедры «Электрические машины и общая электротехника», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-18-27.

E-mail: emoe@omgups.ru

*В данной статье показан способ совершенствования технологии оценки состояния изоляции тяговых двигателей за счет внедрения современных средств технической диагностики. В статье проведен краткий анализ применяемых методов диагностирования с указанием критериев оценки по каждому методу. Предложены структура построения автоматизированной системы комплексного диагностирования состояния изоляции тягового электродвигателя и алгоритмы работы системы и оценки результатов испытаний на основе комплекса диагностических параметров.*

Ключевые слова: комплексное диагностирование, изоляция тягового электродвигателя, критерий качества изоляции, корпусная и межвитковая изоляция, автоматизированная система.

## AUTOMATED FULL-SERVICE SYSTEM FOR TRACTION MACHINES INSULATION DIAGNOSTICS

### **Harlamov Victor Vasilevich**

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Dr. Sci. Tech., professor, head of the department «Electrical machines and common electro-technic», OSTU.

Phone: (3812) 31-18-27.

E-mail: emoe@omgups.ru

### **Shkodun Pavel Konstantinovich**

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Ph. D., senior lecturer of the department «Electrical machines and common electrotechnic», OSTU.

Phone: (3812) 31-18-27.

E-mail: emoe@omgups.ru

### **Shestakov Ignat Valentinovich**

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Post-graduate student of the department «Electrical machines and common electrotechnic», OSTU.

Phone: (3812) 31-18-27.

E-mail: emoe@omgups.ru

*The aim of this article is an advancement of state estimation process of traction machines insulation. Diagnosis method brief analysis is given. The structure of traction machines insulation state automated full-service diagnosis system developing is offered, as well as the operation algorithm of the system. The algorithm of testing results estimation based on diagnosis characteristics group is given.*

*Keywords: comprehensive diagnostics, insulation of traction motors, the criteria as insulation, ground insulation, interturn insulation, automated system.*

УДК 621.311

## НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ В ХОЛДИНГЕ «РОССИЙСКИЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ»

### **Никифоров Михаил Михайлович**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, начальник научно-производственной лаборатории «Энергосберегающие технологии и электромагнитная совместимость», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 44-39-23.

E-mail: nikiforovmm@rambler.ru

**Незевак Владислав Леонидович**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник научно-производственной лаборатории «Энергосберегающие технологии и электромагнитная совместимость», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 44-39-23.

E-mail: NezevakWL@mail.ru

*В статье приведены результаты анализа нормативных и правовых документов Российской Федерации, а также внутренних нормативных документов, устанавливающих основные целевые показатели и требования к деятельности по энергосбережению в холдинге «Российские железные дороги». Обоснована необходимость проведения актуализации Энергетической стратегии холдинга «Российские железные дороги» и пересмотра перечня механизмов ее реализации.*

*Ключевые слова: нормативно-правовое обеспечение, энергосбережение, прогнозы потребления топливно-энергетических ресурсов, энергетическая стратегия, целевые ориентиры, энергетическая эффективность, сценарии развития, механизмы реализации.*

## **STANDARD LEGAL SUPPORT ACTIVITIES FOR ENERGY SAVING IN HOLDING «RUSSIAN RAILWAYS»**

**Nikiforov Mikhail Mikhailovich**

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Ph. D., the head of the scientific and industrial laboratory «Energy saving technologies and EMC», OSTU.

Phone: (3812) 44-39-23.

E-mail: nikiforovmm@rambler.ru

**Nezevak Vladislav Leonidovich**

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Ph. D., associate professor, senior researcher of research-and-production laboratory «Energy saving technologies and EMC», OSTU.

Phone: (3812) 44-39-23.

E-mail: NezevakWL@mail.ru

*Results of the analysis of normative and legal documents of the Russian Federation, and also the internal normative documents establishing the main target indicators and requirements to activities for energy saving in «Russian Railways» Holding are given in article. Need of carrying out updating of Power strategy of «Russian Railways» Holding and revision of the list is proved by the mechanism of its realization.*

*Keywords: standard legal support, energy saving, forecasts of consumption of fuel and energy resources, power strategy, target reference points, power efficiency, scenarios of development, realization mechanisms.*

УДК 621.391

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ХЭРСТА С ПОМОЩЬЮ АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

**Коваленко Ольга Николаевна**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Инфокоммуникационные системы и информационная безопасность», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-06-94.

E-mail: ONKovalenko@mail.ru

*Предложена методика прогнозирования коэффициента Хэрста на основе различных способов предсказания. Для выбора метода прогнозирования введены ошибки недооценки и переоценки. Показано, что если не учитывать колебания значений коэффициента Хэрста, используемых для расчета требуемых параметров телекоммуникационной сети железнодорожного транспорта, то для качественного обслуживания поступающего трафика выделенных ресурсов сети будет недостаточно (т. е. ухудшатся показатели QoS) или ресурсы сети будут использоваться неэффективно.*

Ключевые слова: самоподобный поток, коэффициент Хэрста, мультисервисная сеть, прогнозирование, качество обслуживания.

## PREDICTION OF COEFFICIENT OF HURST BY MEANS OF METHODS OF ANALYTICAL FORECASTING

**Kovalenko Olga Nikolaevna**

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Ph. D., associate professor of the department «Infocommunication systems and information security» (OSTU).

Phone: (3812) 31-06-94.

E-mail: ONKovalenko@mail.ru

*The technique of a prediction of coefficient of Hurst on the basis of various ways of a prediction is offered. For a choice of a method of a prediction errors of underestimation and revaluation are entered. It is shown that if not to consider fluctuation of value of coefficient of Hurst, the demanded parameters of a multiservice network, the allocated resources of a network used for calculation or will be insufficiently for high-quality service of the arriving traffic (that is QoS indicators will worsen), or resources of a network will be inefficiently used.*

Keywords: self-similar stream, coefficient Hurst, multiservice network, prediction, quality of service.

УДК 625.143

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМ РАСХОДА МАТЕРИАЛОВ НА ТЕКУЩЕЕ СОДЕРЖАНИЕ ПУТИ

**Карпущенко Николай Иванович**

Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС).

630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191.

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Путь и путевое хозяйство», СГУПС.

Тел.: 8 (383) 328-04-18.

E-mail: kni@stu.ru

### **Быстров Антон Викторович**

Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС).

630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191.

Преподаватель, инженер научно-исследовательской лаборатории «Путеиспытательная», СГУПС.

E-mail: bystrovanton@ya.ru

### **Труханов Павел Станиславович**

Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС)

630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191.

Аспирант, инженер научно-исследовательской лаборатории «Путеиспытательная», СГУПС.

E-mail: gaiwer123@mail.ru

*Приведены методика и алгоритм определения норм расхода материалов на текущее содержание пути в зависимости от грузонапряженности, пропущенного тоннажа, плана и профиля участков пути, осевых нагрузок подвижного состава. Нормативы разработаны на основе анализа существующих нормативных документов, статистических данных из форм первичного учета ПУ-74 расхода материалов, годовых отчетов линейных участков и других источников. В зависимости от условий эксплуатации нормативы определяются по аналитическим зависимостям и корректирующим коэффициентам.*

Ключевые слова: железнодорожный путь, текущее содержание пути, расход материалов на текущее содержание, план и профиль пути.

## **DEFINITION OF CONSUMPTION RATES OF MATERIALS ON THE CURRENT MAINTENANCE OF THE WAY**

### **Karpuschenko Nikolai Ivanovich**

Siberian Transport University (STU).

191, st. Dusi Kovalchuk, Novosibirsk, 630049, Russia.

Dr. Tech. Scien., professor, head of the department «Track and Track Facilities».

Phone: 8 (383) 328-04-18.

E-mail: kni@stu.ru

### **Bystrov Anton Viktorovich**

Siberian Transport University (STU).

191, st. Dusi Kovalchuk, Novosibirsk, 630049, Russia.

Tutor, engineer of the laboratory «Research Laboratory», STU.

E-mail: bystrovanton@ya.ru

### **Trukhanov Pavel Stanislavovich**

Siberian Transport University (STU).

191, st. Dusi Kovalchuk, Novosibirsk, 630049, Russia.  
Post-graduate student, engineer of the laboratory «Research Laboratory», STU.  
E-mail: gaiwer123@mail.ru

*The technique and algorithm of definition of consumption rates of materials on the current maintenance of a way depending on freight density, the passed tonnage, the plan and a profile of sites of a way, axial loadings of a rolling stock is given. Standards are developed on the basis of the analysis of the existing normative documents, statistical data from forms of primary accounting of PU-74 of the consumption of materials, annual reports of linear sites and other sources. Depending on service conditions standards are determined by analytical dependences and the correcting coefficients.*

Keywords: *railway track, the current maintenance of a way, the consumption of materials on the current contents, the plan and a profile of a way.*

УДК 625.12.033.38

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЁССОВИДНЫХ ГРУНТОВ ПРИ ДЕЙСТВИИ ВИБРОДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ, ВОЗНИКАЮЩЕЙ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПОЕЗДОВ СО СКОРОСТЯМИ 200 – 250 км/ч**

**Эргашев Улугбек Эркинжон угли**

Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта (ТашИИТ).  
100167, г. Ташкент, Миробадский район, ул. Адылходжаева, 1, Республика Узбекистан.  
Младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Путь и путевое хозяйство», ТашИИТ.  
Тел.: (+99893) 615-84-04.  
E-mail: ulugbek.ergashev.1988@mail.ru

**Бегматов Нодир Исмаилович**

Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта (ТашИИТ).  
100167, г. Ташкент, Миробадский район, ул. Адылходжаева, 1, Республика Узбекистан.  
Младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Путь и путевое хозяйство», ТашИИТ.  
Тел.: (+99894) 933-39-71.  
E-mail: nodir.begmatov.89@mail.ru.

*Приведены результаты исследования прочностных характеристик лёссовидной супеси в условиях трехосного сжатия при воздействии вибродинамической нагрузки от высокоскоростного подвижного состава. Исследования выполнялись на вибростабилометре, в основу работы установки положен принцип моделирования вибродинамического воздействия с периодическим изменением гидростатического давления в рабочей камере стабилометра. Получены экспериментальные значения удельного сцепления и угла внутреннего трения, а также величин их относительного снижения при воздействии вибродинамической нагрузки.*

Ключевые слова: *лёссовидный грунт, прочность, статика, вибродинамика, удельное сцепление, угол внутреннего трения, относительное снижение.*

## STUDY OF STRENGTH CHARACTERISTICS UNDER GROUND LOESS VIBRODYNAMIC STRESSES RESULTING FROM MOVEMENT OF TRAINS AT A SPEED OF 200 – 250 km/h

### **Ergashev Ulugbek Erkinjon ugli**

Tashkent Institute of Railway Transport Engineers (TIRTE).

1, Mirobad region, Adilkhodjaev str., Tashkent, 100167, Republic of Uzbekistan.

Junior researcher of the research laboratory department «Track and track facilities», TIRTE.

Phone: (+99893) 615-84-04.

E-mail: ulugbek.ergashev.1988@mail.ru

### **Begmatov Nodir Ismailovich**

Tashkent Institute of Railway Transport Engineers (TIRTE).

1, Mirobad region, Adilkhodjaev str., Tashkent, 100167, Republic of Uzbekistan.

Junior researcher of the research laboratory department «Track and track facilities», TIRTE.

Phone: (+99894) 933-39-71.

E-mail: nodir.begmatov.89@mail.ru.

*The results of the study the strength characteristics of loess loam under triaxial when exposed vibrodynamic load of high-speed trains. Research carried out on triaxial vibration, based on the principle of operation of the plant simulation vibrodynamic exposure to periodic changes in hydrostatic pressure in the working chamber triaxial. The experimental values of specific cohesion and angle of internal friction, and the values of their relative decline under the influence of vibrodynam-ic load.*

Keywords: loess soil, strength, statics, vibrodinamika, specific adhesion, internal friction an-gle, relative decline.

УДК 629.4.027.2

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ ПОЛУВАГОНА С РАЗНЫМИ ТИПАМИ ТЕЛЕЖЕК (18-100 и 18-9810)

### **Галиев Ильхам Исламович**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Президент ОмГУПС, заслуженный деятель науки и техники РФ, доктор технических наук, профессор кафедры «Теоретическая механика», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-42-19.

### **Гателюк Олег Владимирович**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Высшая математика», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-16-88.

### **Лукс Дмитрий Юрьевич**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.  
Аспирант кафедры «Теоретическая механика», ОмГУПС.  
Тел.: (3812) 31-16-88.

**Ушак Виктор Николаевич**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).  
644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Теоретическая механика», ОмГУПС.  
Тел.: (3812) 31-16-88.

*В статье проведен сравнительный анализ динамической нагруженности полувагона с разными типами тележек в различных режимах движения (груженный, порожний). Введение в эксплуатацию новых тележек обусловлено увеличением аварийных ситуаций при эксплуатации полувагонов с тележками модели 18-100.*

## **COMPARATIVE EVALUATION OF DYNAMIC LOADING GONDOLA WITH DIFFERENT TYPES OF TRUCKS (18-9810 and 18-100)**

**Galiev Ilham Islamovich**

Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.  
President, honored worker of science and technology of Russia, doctor of engineering, professor of the department «Theoretical Mechanics», OSTU.  
Phone: (3812) 31-42-19.

**Gatelyuk Oleg Vladimirovich**

Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.  
Ph. D., associate professor of the department «Higher Mathematics», OSTU.  
Phone: (3812) 31-16-88.

**Luks Dmitry Yurievich**

Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.  
Post-graduate student of the department « Theoretical Mechanics », OSTU.  
Phone: (3812) 31-16-88.

**Ushak Viktor Nikolaevich**

Omsk State Transport University (OSTU).  
35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.  
Ph. D., associate professor of the department « Theoretical Mechanics », OSTU.  
Phone: (3812) 31-16-88.

*In the article the comparative analysis of the dynamic loading of the floor of the car with different types of trucks in various modes of movement (loaded, empty). Commissioning of the new trucks is due to an increase in accidents in the operation of a gondola carts 18-100.*

Keywords: wagon, truck, truck 18-9810, mathematical model analysis carts, the main advantages of the trolley 18-9810.

УДК 629.4.015;656.2;621.0;534.014

## **ОБОСНОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ ОБОБЩЕННОГО ПОДХОДА К МОДЕЛИРОВАНИЮ ДИНАМИЧЕСКИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ ВИБРАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН**

**Елисеев Андрей Владимирович**

Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС).

664074, Иркутск, ул. Чернышевского, 15.

Кандидат технических наук, младший научный сотрудник НОЦа «Современные технологии, системный анализ и моделирование» ИрГУПС.

Тел.: +7 (83952) 63-83-99, доб. 0296.

E-mail: eavsh@ya.ru

**Елисеев Сергей Викторович**

Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС).

664074, Иркутск, ул. Чернышевского, 15.

Доктор технических наук, профессор, директор-главный научный сотрудник НОЦа «Современные технологии, системный анализ и моделирование» ИрГУПС.

Тел.: +7 (83952) 63-83-26.

E-mail: eliseev\_s@inbox.ru

**Сигачев Николай Петрович**

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, ИПРЭК СО РАН.

672014, Чита, ул. Недорезова, 16, а, а/я 521.

Доктор технических наук, профессор, директор Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, ИПРЭК СО РАН.

E-mail: direktor@zab.megalink.ru

*Предлагается гипотеза формирования вибрационных состояний рабочей среды, основанная на представлении о том, что процесс формирования взаимодействия элементов в системах с неустойчивыми связями рассматривается как процесс, состоящий из нескольких фаз. Таковыми являются фазы контакта, при которых реакция связи положительна; фаза переходного состояния, когда реакция равна нулю; фаза зазора, в которой контактирующие поверхности могут совершать независимые движения. Задачи исследования ориентированы на детализацию теоретических представлений о динамических взаимодействиях твердого тела с вибрирующей поверхностью на основе разработанных математических моделей, получаемых при введении дополнительных внешних сил и упругих связей. Рассматриваются динамические взаимодействия элементов, в которых проявляются эффекты неустойчивых связей; определены и развиты аналитические подходы в оценке возможностей вибрационных технологических процессов с непрерывным подбрасыванием рабочей среды. Предлагается обобщенный подход для задач динамического синтеза, основой которых является введение понятия о функции зазора, позволяющей обосновать построение траекторий движения материальных частиц в соответствии с определенными критериями, отражающими свойства траекторий движения материальных частиц во взаимодействии с вибрирующей поверхностью. Разработан метод построения математических моделей формирования вибрационных взаимодействий с учетом факторов, имеющих технологическое значение, или критериев, к которым относятся условия реализации крат-*

ных режимов, влияние дополнительных сил и упругих связей. В рамках обобщенного подхода к решению задач динамического взаимодействия сыпучей среды с вибрирующей поверхностью рассмотрены возможности использования функции зазора для оценки и исследования форм движения материальных частиц в соответствии с влиянием ряда факторов, отражающих параметры вибрационного поля, условия взаимодействий с внешней средой и особенности формирования периодических режимов подбрасывания. Доказана теорема об условиях и возможностях реализации устойчивых режимов взаимодействия с вибрирующей поверхностью. Получены аналитические соотношения, определяющие условия реализации форм процессов взаимодействия сыпучей рабочей среды с деталями в технологиях вибрационного упрочнения. Приводятся результаты апробирования рекомендаций по построению технологических процессов в приложении к производственному технологическому комплексу.

Ключевые слова: обобщенная функция зазора, неударживающие связи, режимы непрерывного подбрасывания, высота подлета, траектория.

## **SUBSTANTIATION AND DEVELOPMENT OF A GENERALIZED APPROACH TO MODELING OF DYNAMIC INTERACTION IN THE PROCESS OF VIBRATIONAL TECHNOLOGICAL SURFACE HARDENING PARTS TRANSPORT MACHINES**

### **Eliseev Andrey Vladimirovich**

Irkutsk State Transport University (ISTU).

15, Chernyshevsky str., Irkutsk, 664074, Russia.

Ph. D., research assistant of research and educational center «Modern technologies, systems analysis and modeling» ISTU.

Phone: +7 (83952) 63-83-99, add. 0296.

E-mail: eavsh@ya.ru

### **Eliseev Sergey Viktorovich**

Irkutsk State Transport University (ISTU).

15, Chernyshevsky str., Irkutsk, 664074, Russia.

Doctor of Technical Sciences, professor, director of research and educational center «Modern technologies, systems analysis and modeling», ISTU.

Phone: +7 (83952) 66-51-29.

E-mail: eliseev\_s@inbox.ru

### **Sigachev Nikolai Petrovich**

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS.

16, a, Nedorezova st., Chita, 672014, box 521, Russia.

Doctor of Technical Sciences, professor, director of the Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS.

E-mail: direktor@zab.megalink.ru

*The hypothesis of formation of vibration conditions of a working environment based on representation that process of formation of interaction of elements in systems with not holding connections is considered as the process consisting of several phases is offered. Those are: contact phases at which reaction of connection is positive; a phase of a transition state when reaction is equal to zero; a gap phase in which the contacting surfaces can make the independent movements. Research problems are focused on specification of theoretical ideas of dynamic interactions of a solid body*

*with the vibrating surface on the basis of the developed mathematical models received at introduction of additional external forces and elastic connections. Dynamic interactions of elements are considered; analytical approaches in an assessment of opportunities of vibration technological processes with continuous tossing of a working environment are defined and developed. The generalized approach for problems of dynamic synthesis which basis is introduction of concept about the function of a gap allowing to prove creation of trajectories of movements of material particles according to the certain criteria reflecting properties of trajectories of the movement of material particles in interaction with the vibrating surface is offered. The method of creation of mathematical models of formation of vibration interactions taking into account the factors having technological value or criteria to which conditions of realization of the multiple modes, influence of additional forces and elastic connections belong is developed. Within the generalized approach to the solution of problems of dynamic interaction of the loose environment with the vibrating surface possibilities of use of function of a gap for an assessment and research of forms of the movement of material particles according to influence of a number of the factors reflecting parameters of a vibration field, condition of interactions with environment and features of formation of the periodic modes of tossing are considered. The theorem of conditions and opportunities of realization of the steady modes of interaction with the vibrating surface is proved. The analytical ratios defining conditions of realization of forms of processes of interaction of a loose working environment with details in technologies of vibration hardening are received. Results of approbation of recommendations about creation of technological processes in the annex to an industrial technological complex are proposed.*

**Keywords:** *the generalized function of a gap, not holding connections, the modes of continuous tossing, approach height, trajectory.*

## Уважаемые коллеги!

Редакция научно-технического журнала «Известия Транссиба» приглашает Вас публиковать результаты научных исследований по тематическим направлениям журнала:

- подвижной состав железных дорог;
- транспортная энергетика;
- информационные технологии, автоматика, связь, телекоммуникации;
- путь и искусственные сооружения;
- управление перевозочными процессами и безопасность движения поездов;
- организация производства на транспорте;

Материалы просим высылать ответственному секретарю редакционной коллегии журнала Захаренко Елене Игоревне по электронной почте: [izvestia\\_transsiba@mail.ru](mailto:izvestia_transsiba@mail.ru)

### Правила представления рукописей научных статей в научно-технический журнал «Известия Транссиба»

#### В редакцию журнала представляются:

текст статьи на белой бумаге формата А4 в двух экземплярах, а также в электронном виде (на любом носителе или по e-mail), имя файла определяется по фамилии первого автора: фамилия.doc; название статьи, аннотация, ключевые слова (5 – 10 слов), название тематического раздела журнала, в который представляется статья (в отдельном файле – на русском и английском языках);

сведения об авторах в отдельном файле на русском и английском языках (фамилия, имя, отчество, ученая степень и звание, место работы с указанием почтового адреса, должность, контактные телефоны, e-mail для обратной связи);

один экземпляр текста статьи должен быть подписан всеми авторами на оборотной стороне каждой страницы.

#### Требования к аннотации статьи:

аннотация должна быть кратким точным изложением содержания статьи, включающим в себя основные фактические сведения и выводы описываемой работы;

текст аннотации должен быть лаконичным и четким, свободным от второстепенной информации, должен отличаться убедительностью формулировок;

сведения, содержащиеся в заглавии статьи, не должны повторяться в тексте аннотации;

объем аннотации на русском и английском языках должен содержать от 200 до 250 слов;

аннотация на русском и английском языках должна включать следующие аспекты содержания статьи: предмет, цель работы; метод или методологию проведения работы; результаты работы; область применения результатов; выводы.

дополнительно англоязычная аннотация должна быть оригинальной (не быть калькой русскоязычной аннотации); содержательной (отражать основное содержание статьи и результаты исследований); структурированной (следовать логике описания результатов в статье); англоязычной (написанной качественным английским языком); необходимо использовать активный, а не пассивный залог.

#### Требования к рукописи статьи:

рукопись статьи должна содержать УДК (в левом верхнем углу, обычный, 12 пт), инициалы и фамилию (по центру, 11 пт), название статьи (по центру, прописными буквами, полужирный, 12 пт), аннотацию на русском языке (курсив, по ширине, 10 пт);

текст статьи должен быть набран в редакторе Word, размер страницы: формат А4 (210 × 297 мм);

размер полей: 20 мм (все четыре поля), размер и тип шрифта основного текста: Times New Roman, 12 пт;

размеры символов в формулах (Equation): обычный – 12 пт, крупный индекс – 7, мелкий – 5, крупный символ – 15, мелкий – 12 пт;

буквы латинского алфавита набираются курсивом, буквы греческого и русского алфавитов, математические символы такие, например, как cos, sin, max, min, – прямым шрифтом;

текст в таблицах, подрисуночные подписи и названия таблиц набираются шрифтом Times New Roman, 10 пт;

межстрочный интервал одинарный, абзацный отступ – 0,75 см;

каждый рисунок дополнительно должен быть представлен в оригинальном файле (формат JPEG или TIFF, разрешение – не ниже 300 пикс/дюйм);

рисунки, выполненные в редакторе Word, должны быть вставлены как объект;

после текста статьи следует список литературы на русском языке и в романском алфавите (латинице) с переводом названий литературных источников на английский язык;

ссылки на литературу в тексте статьи указываются в квадратных скобках, список литературы имеет заголовок *Список литературы* (не более 10 наименований), библиографическое описание источников на русском языке оформляется по требованиям ГОСТ 7.1-2003;

в романском алфавите (латинице) список литературы имеет заголовок *References* и оформляется по следующему образцу: Author1 A.A., Author2 A.A., Author3 A.A., Author4 A.A., Author5 A.A. Title of article [Nazvanie stat'i v romanskom alfavite]. Nazvanie zhurnala v romanskom alfavite – *Title of Journal*, 2014, no. 1, pp. 54 – 57.

Рукописи статей, опубликованных ранее или переданных в другие издания, не принимаются.

Число соавторов не должно превышать трех человек. Рекомендуемый объем статьи – не менее пяти и не более 10 страниц. В ином случае вопрос по объему статьи необходимо согласовать с редакцией журнала. Иллюстрации, схемы, таблицы, включаемые в текст статьи, учитываются в общем объеме текста.

Авторы должны избегать повторения одних и тех же данных в таблицах, на графиках и в тексте статьи.

В случае представления двух или более статей одновременно необходимо указывать желательную очередность их публикации.

В случае возвращения статьи автору для устранения замечаний или для ее сокращения датой представления считается день получения редакцией журнала окончательного текста.

Принятые к публикации рукописи статей не возвращаются авторам.

Материалы, оформленные не в соответствии с указанными выше требованиями, не принимаются к публикации и не возвращаются.

Редакционный совет оставляет за собой право литературного редактирования статьи без согласования с авторами.

*Научное издание*

Научно-технический журнал «Известия Транссиба»

№ 4 (24) 2015

Научно-технический журнал «Известия Транссиба» зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) 3 июня 2009 г., свидетельства о регистрации СМИ ПИ № ФС77-36469 от 3 июня 2009 г. и ПИ № ФС77-49218 от 30 марта 2012 г.

Номер ISSN – 2220-4245.

Подписной индекс в общероссийском каталоге НТИ Агентства «Роспечать» – 66087.

Издание обрабатывается в системе Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).

Журнал включен в Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Издание выходит с периодичностью 4 номера в год (каждый квартал).

Редактор – Майорова Н. А.

Компьютерная верстка – Захаренко Е. И.

Адрес редакции (издательства): 644046, г. Омск, пр. Маркса, 35;  
тел.: (3812) 31-05-54; e-mail: izvestia\_transsiba@mail.ru

Подписано в печать 28.11.2015.

Тираж 500 экз.

Отпечатано в ГП «Омская областная типография»: 644070, г. Омск, ул. Декабристов, 37.  
Дата выпуска: 30.11.2015.

