

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ
ДВИЖЕНИЯ ВАГОНА
НА УЧАСТКАХ ТОРМОЗНЫХ ПОЗИЦИЙ
СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ**

**МЕРИДИОНАЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТНЫЙ КОРИДОР,
ОБЪЕДИНЯЮЩИЙ СЕВЕРНЫЙ МОРСКОЙ ПУТЬ,
СЕВЕРНЫЙ ШИРОТНЫЙ ХОД,
БАМ И ТРАНССИБ С КИТАЕМ**

**ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА
ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
В СЦЕНАРНЫХ УСЛОВИЯХ ОТРАСЛЕВОГО
СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ
И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ**

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА
АКТИВНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ТРИАНГУЛЯЦИИ
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦИИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
РЕМОНТА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

**АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ДЛИНЫ
ОЧЕРЕДИ АВТОМОБИЛЕЙ
ПЕРЕД РЕГУЛИРУЕМЫМ ПЕРЕКРЕСТКОМ
ПРИ ПЕРЕГРУЗКЕ**



МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

1. Александр Галкин, д-р техн. наук, профессор, главный редактор журнала «Транспорт Урала», Екатеринбург, Россия
2. Александер Сладковски, д-р техн. наук, профессор, Силезский технический университет, Польша
3. Эдуард Горкунов, д-р техн. наук, профессор, академик РАН, Екатеринбург, Россия
4. Аксель Шмидер, д-р, «Сименс АГ», отраслевой сектор, департамент транспорта «Железнодорожное строительство», Эрланген, Германия
5. Эрки Хамалайнен, д-р экон. наук, университет Аалто, Школа экономики, Финляндия
6. Валерий Доманский, д-р техн. наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

1. Александров Александр Эрнстович, д-р техн. наук, доцент, научный редактор, Екатеринбург
2. Булаев Владимир Григорьевич, д-р техн. наук, доцент, Екатеринбург
3. Галиев Ильхам Исламович, д-р техн. наук, профессор, Омск
4. Козлов Петр Алексеевич, д-р техн. наук, профессор, Москва
5. Комаров Константин Леонидович, д-р техн. наук, профессор, Новосибирск
6. Лапшин Василий Федорович, д-р техн. наук, профессор, Екатеринбург
7. Ларин Олег Николаевич, д-р техн. наук, профессор, Москва
8. Ледяев Александр Петрович, д-р техн. наук, профессор, Санкт-Петербург
9. Румянцев Сергей Алексеевич, д-р техн. наук, с.н.с., Екатеринбург
10. Сай Василий Михайлович, д-р техн. наук, профессор, зам. главного редактора, Екатеринбург
11. Смольянинов Александр Васильевич, д-р техн. наук, профессор, Екатеринбург
12. Туранов Хабибулла Туранович, д-р техн. наук, профессор, Екатеринбург
13. Умняшкин Владимир Алексеевич, д-р техн. наук, профессор, Ижевск
14. Хоменко Андрей Павлович, д-р техн. наук, профессор, Иркутск
15. Шароглазов Борис Александрович, д-р техн. наук, профессор, Челябинск

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

1. Alexander Galkin, DSc, professor, editor-in-chief of the journal "Transport of the Urals", Ekaterinburg, Russia
2. Alexander Sladkowski, professor, Silesian University of Technology, Poland
3. Eduard Gorkunov, DSc, professor, academician of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia
4. Axel Schmieder, DSc, Siemens AG, Industry Sector, Mobility Division, Transportation Engineering, Erlangen, Germany
5. Erkki Hamalainen, DSc, Aalto University School of Economics, Finland
6. Valeriy Domansky, DSc, professor of National technical University "Kharkiv politechnical institute", Kharkiv, Ukraine

EDITORIAL BOARD

1. Alexandrov Alexander Ernstovich, DSc, associate professor, science editor, Ekaterinburg
2. Bulaev Vladimir Grigorievich, DSc, associate professor, Ekaterinburg
3. Galiev Ilkham Islamovich, DSc, professor, Omsk
4. Kozlov Petr Alexeyevich, DSc, professor, Moscow
5. Komarov Konstantin leonidovich, DSc, professor, Novosibirsk
6. Lapshin Vasily Fedorovich, DSc, professor, Ekaterinburg
7. Larin Oleg Nikolayevich, DSc, professor, Moscow
8. Ledyaev Alexander Petrovich, DSc, professor, Saint-Petersburg
9. Rumyantsev Sergey Alexeyevich, DSc, senior staff scientist, Ekaterinburg
10. Say Vasily Mikhaylovich, DSc, professor, deputy editor-in-chief, Ekaterinburg
11. Smolyaninov Alexander Vasiliyevich, DSc, professor, Ekaterinburg
12. Turanov Khabibulla Turanovich, DSc, professor, Ekaterinburg
13. Umnyashkin Vladimir Alexeyevich, DSc, professor, Izhevsk
14. Khomenko Andrey Pavlovich, DSc, professor, Irkutsk
15. Sharoglazov Boris Alexandrovich, DSc in Engineering, professor, Chelyabinsk

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТРАНСПОРТА

Х. Т. Туранов, А. А. Гордиенко.
Математическое описание движения вагона на участках тормозных позиций сортировочной горки 3

П. И. Тарасов, Г. Л. Аккерман, О. В. Голубев.
Меридиональный транспортный коридор, объединяющий Северный морской путь, Северный широтный ход, БАМ и Транссиб с Китаем 9

Е. В. Тюнюкова, В. В. Буровцев, С. Ю. Полунина.
Экспертная оценка инновационного развития железнодорожного транспорта в сценарных условиях отраслевого стратегического планирования и прогнозирования 15

В. Ю. Пермикин, Э. В. Васильев, В. В. Наритцин.
Полигонные технологии управления тяговыми ресурсами в условиях совместной эксплуатации односистемных и двухсистемных грузовых электровозов 21

Т. А. Конова, В. А. Антропов.
Проблема оценки достаточности инфраструктуры вузов для качественной подготовки кадров 28

GENERAL TRANSPORT PROBLEMS

Kh. T. Turanov, A. A. Gordienko.
Mathematical description of car movement on sections of hump retarder positions 3

P. I. Tarasov, G. L. Akkerman, O. V. Golubev.
Meridional transport corridor uniting the Northern Sea Route, the Northern Latitudinal Railway, the BAM and the Trans-Siberian Railway with China 9

E. V. Tyunyukova, V. V. Burovtsev, S. Yu. Polunina.
Expert evaluation of innovative development of railway transport in scenario conditions of industry strategic planning and forecasting 15

V. Yu. Permikin, E. V. Vasilyev, V. V. Naritsin.
Range technologies of traction resources management in the conditions of joint operation of single- system and two-system freight electric locomotives 21

T. A. Konova, V. A. Antropov.
The problem of assessing the sufficiency of higher educational establishments infrastructure for quality training of specialists 28

ГРУЗОВЫЕ И ПАССАЖИРСКИЕ ПЕРЕВОЗКИ

К. И. Корниенко.
Совершенствование методики имитационного моделирования заполнения пути сортировочного парка 35

CARGO AND PASSENGER TRANSPORTATION

K. I. Kornienko.
Improvement of simulation modeling of classification tracks filling 35

ПУТЬ И ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Г. Л. Аккерман, С. Г. Аккерман.
Особенности железнодорожных транспортных систем приполярных областей Российской Федерации 43

RAILWAY CONSTRUCTION AND RAILWAY TRACK

G. L. Akkerman, S. G. Akkerman.
Peculiarities of railway transport systems for the circumpolar regions of the Russian Federation 43

ВАГОНЫ И ВАГОННОЕ ХОЗЯЙСТВО

Д. Н. Салтыков, П. И. Шалупина.
О необходимости создания инфракрасных напольных систем для контроля работоспособности тормозов на железных дорогах России 47

RAILWAY CARS AND CARRIAGE EQUIPMENT

D. N. Saltykov, P. I. Shalupina.
About the necessity to create infrared wayside systems for controlling the operability of brakes on the Russian railways 47

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ И ТЯГА

В. А. Смирнов, К. В. Панов.
Применение метода активной лазерной триангуляции для решения задач автоматизации технологических процессов ремонта подвижного состава 52

ROLLING STOCK AND TRACTION

V. A. Smirnov, K. V. Panov.
Application of active laser triangulation method for solving problems of automating the technological processes of rolling stock repair 52

ТРАНСПОРТНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

Л. В. Плотников, Б. П. Жилкин, Ю. М. Бродов.
Совершенствование тепломеханических характеристик потоков во впускной системе комбинированного двигателя внутреннего сгорания 58

TRANSPORT MACHINERY

L. V. Plotnikov, B. P. Zhilkin, Yu. M. Brodov.
Improvement of thermal and mechanical characteristics of flows in the intake system of a combined internal combustion engine 58

АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ

В. Н. Коваленко, Д. А. Зернин.
Анализ безопасных структур микропроцессорных централизаций на железнодорожном транспорте 63

AUTOMATION, TELEMCHANICS AND COMMUNICATION

V. N. Kovalenko, D. A. Zernin.
Analysis of safety structures of microprocessor interlocking on railway transport 63

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ТЯГА

А. П. Буйновосов, А. Р. Динисламов.
Уменьшение погрешности измерения глубины поверхностного термостроения деталей локомотивов неразрушающим ультразвуковым способом 69

ELECTRIC TRACTION

A. P. Buynosov, A. R. Dinislamov.
Reducing the depth measurement error of locomotive parts surface thermostrengthening by non-destructive ultrasonic method 69

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

А. А. Ковалев, А. Ю. Иванисhev.
Методика определения геометрических параметров консолей 73

А. А. Ковалев, А. М. Маслов, Н. А. Аксенов.
Применение мобильных средств диагностики опор контактной сети 77

ELECTRIC SUPPLY

A. A. Kovalev, A. Yu. Ivanishhev.
Method of determining the cantilever geometric parameters 73

A. A. Kovalev, A. M. Maslov, N. A. Aksenov.
The use of mobile devices for catenary supports diagnostics 77

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

С. В. Витолин.
Анализ изменения длины очереди автомобилей перед регулируемым перекрестком при перегрузке 80

MOTOR TRANSPORT

S. V. Vitolin.
Analysis of changes of the vehicle queue length in front of a signalized intersection at the overload 80

УДК 656.21.001.2

Хабидулла Туранович Туранов, доктор технических наук, профессор кафедры «Станции, узлы и грузовая работа» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, Россия,

Андрей Александрович Гордиенко, кандидат технических наук, доцент кафедры «Станции, узлы и грузовая работа» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, Россия

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ВАГОНА НА УЧАСТКАХ ТОРМОЗНЫХ ПОЗИЦИЙ СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ

Khabibulla Turanovich Turanov, DSc in Engineering, Professor, Stations, Junctions and Freight Work Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg, Russia,

Andrey Alexandrovich Gordienko, PhD in Engineering, Associate Professor, Stations, Junctions and Freight Work Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg, Russia

Mathematical description of car movement on sections of hump retarder positions

Аннотация

В статье на основе закона динамики для неидеальных связей (принципа Д'Аламбера) приведены результаты математического описания равнозамедленного движения вагона в зонах торможения, выделенных условно на участках тормозных позиций сортировочной горки, с учетом воздействия проекции силы попутного ветра малой величины. Получены формулы ускорения, времени и пути торможения. Результатами расчетов подтверждена корректность и применимость построенных математических моделей к зонам торможения вагона на всех участках тормозных позиций.

Ключевые слова: сортировочная горка, вагон, попутный ветер, участок тормозной позиции, путь торможения, неидеальная связь, равнозамедленное движение.

Summary

In the paper on the basis of the law of dynamics for non-ideal constraints (D'Alembert's principle), the results of mathematical description of car uniformly retarded motion in braking zones, conditionally chosen on sections of hump retarder positions, with the consideration for the influence of the light tail-wind force projection are given out. Authors obtained formulas of acceleration, time and brake distance. Calculation results confirm the correctness and the applicability of the mathematical models to braking zones of the car on all sections of retarder positions.

Keywords: hump, car, tail-wind, section of retarder position, brake distance, non-ideal constraint, uniformly retarded motion.

DOI: 10.20291/1815-9400-2018-2-3-8

Настоящая статья является продолжением серии публикаций, посвященных динамике скатывания вагона по спускной части сортировочной горки при воздействии проекции силы попутного ветра малой величины [1–6].

До сих пор авторы считали определение времени движения и пути торможения вагона на участках тормозных позиций трудноразрешимой задачей (см., например, [3–6]). Тем не менее, в статьях [7, 8], как и в существующей методике горочных конструктивных и технологических расчетов [9–17], эта задача решена с использованием понятия мощности тормозных позиций h_T , см., например, вычитаемое $2g'h_T$ в формуле (2) [8]:

$$v_K^2 = v_H^2 + 2g'l(i-w)10^{-3} - 2g'h_T,$$

здесь v_H и v_K — соответственно скорость в начале и конце расчетного участка сортировочной горки; g' — ускорение свободного падения с учетом инерции вращающихся частей отцепки; l — длина расчетного участка; i — уклон расчетного участка; w — суммарное удельное сопротивление движению.

Отметим, что приведенная формула (2) [8], на наш взгляд, ошибочна и вряд ли может претендовать на совершенно точную математическую модель движения вагона по уклону горки из-за следующих существенных упущений.

Во-первых, в ней объединены два совершенно несопоставимых математических выражения, описывающих движение вагона на различных участках горки, где уменьшаемые v_H^2 и $2g'l(i-w)10^{-3}$ справедливы для неидеальной связи, а $2g'h_T$ — для идеальной связи, не имеющей практической значимости.

Во-вторых, рассматривается ускорение свободного падения g' с учетом инерции вращающихся масс на участках тормозных позиций (см. $2g'l(i-w)10^{-3}$, $2g'h_T$ в формуле (2) [8]), хотя при срабатывании вагонных замедлителей по ним происходит скольжение колесных пар.

В-третьих, поскольку мощность тормозной позиции h_T — величина нормируемая, еще раз подчеркнем, что недопустимо применять формулу, соответствующую идеальной связи, для определения скоростных характеристик вагона на участках тормозных позиций горки из-за наличия неидеальных связей, в которых при торможении вагона сила трения F_{TP} является преобладающим фактором (превалирует над остальными силами сопротивления).

Помимо всего прочего, отрицательный знак перед $2g'h_T$ в формуле (2) [8], характеризующий равнозамедленное движение вагона на этом участке, должен быть доказан.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Получить конечные аналитические формулы ускорения, времени торможения и пути прохождения вагона при равнозамедленном движении в зоне торможения на участках тормозных позиций и подтвердить их корректность расчетными данными.

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

Решение поставленной задачи строится на основе закона динамики для неидеальных связей, т.е. на основе принципа Д'Аламбера [18–20].

ПРИНЯТЫЕ ДОПУЩЕНИЯ

Предположим, что любые точки вагона, включая его центр масс C_B и центр масс C колесных пар, в зонах торможения (ЗТ) на участках тормозных позиций (ТП) будут двигаться с одинаковыми скоростями, равными скорости входа вагона $v_{Bx,T} = v_K$ в эту зону, т.е. $v_{CB} = v_C = v_{Bx,T} = v_K = \text{const} > 0$ ($v_{Bx,T}$ — скорость входа вагона на участок тормозной позиции, v_K — скорость вагона в конце участка, предшествующего участку торможения, v_{CB} — скорость движения центра масс вагона, v_C — скорость центра масс колесных пар), относительно инерциальной (неподвижной) системы отсчета $Ox'y'z'$, параллельной рельсовым нитям. Поэтому движение вагона с грузом G_1 в ЗТ можно рассматривать как движение системы материальных точек и предполагать всю массу вагона M_B сосредоточенной в его центре масс C_B . При этом за начало неподвижной системы отсчета $Ox'y'z'$ примем то положение, в котором точка C_B находилась в начале торможения вагона. За начало отсчета времени, т.е. за $t = 0$, возьмем момент начала торможения вагона, движущегося по уклону горки с постоянной скоростью $v_{HT} = v_{Bx,T} = v_K = \text{const} > 0$ (v_{HT} — скорость в момент начала торможения вагона на участке торможения).

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Математически опишем движение вагона в ЗТ на участках ТП сортировочной горки согласно принципу Д'Аламбера для абсолютного движения твердого тела [18–20] в проекциях на ось Ox' инерциальной системы отсчета $Ox'y'z'$ в виде (см. формулу (4.57) в [20])

$$M_{CB} a_{abc.x} = \sum_{k=1}^n F_{kx}^e + \sum_{k=1}^n R_{kx}^e, \quad (1)$$

где M_{CB} и $a_{abc.x}$ — масса вагона с грузом и проекция абсолютного ускорения центра масс вагона в инерциальной системе отсчета $Ox'y'z'$;

$\sum_{k=1}^n F_{kx}^e$ — сумма проекции всех внешних сил F_k^e (индекс e от франц. *exterieur* — «внешний») на неподвижную ось Ox' ;

$\sum_{k=1}^n R_{kx}^e$ — сумма проекции всех реактивных сил (реакции связей) R_k^e на неподвижную ось Ox' .

Принимая во внимание, что

$$\sum_{k=1}^n F_{kx}^e = F_{xi}; \quad \sum_{k=1}^n R_{kx}^e = -F_{ci},$$

математическое выражение (1) перепишем в виде

$$M_{CB} a_{abc.x} = F_{xi} - F_{ci}, \quad (2)$$

где $F_{xi} = G_1 \sin \psi_{Ti} + F_{Bx}$ — сила, под воздействием которой вагон входит в ЗТ на участках ТП с учетом проекции силы попутного ветра малой величины F_{Bx} ;

ψ_{Ti} — угол уклона на участках ТП;

F_{ci} — в общем случае сила сопротивления всякого рода (сопротивление в виде сухого трения скольжения контактирующих поверхностей обода колесных пар и тормозных шин вагонного замедлителя $F_{ТОРМ}$; основное сопротивление $F_{TPi} = F_{oi}$; сопротивление от воздушной среды и ветра F_{CB} ; сопротивление от снега и инея F_{ci}), под воздействием которой вагон может тормозить вплоть до остановки вагонным замедлителем, принимаемая в долях от силы тяжести груженого вагона совместно с невращающимися частями (тележек и колесных пар) G_1 , т.е. $F_{ci} = f(G_1)$.

При этом силу сухого трения F_{TP} (как основное и/или определяющее сопротивление в ЗТ), возникающую при чистом скольжении контактирующих поверхностей колесных пар, рельсовых нитей и тормозных шин вагонного замедлителя в момент «схватывания металла о металл», определим согласно закону Кулона [см. нестрогое неравенство (3)]:

$$F_{TPi} \leq f_T G_1 \cos \psi_{Ti}, \quad (3)$$

где f_T — коэффициент сухого трения при скольжении колес в моменты «схватывания металла о металл» (для железнодорожных колес обычно равен 0,24 или 0,25 [20]), который может быть принят как доля от силы тяжести G_1 , т.е. $f_T = f(G_1)$.

Заметим, что в уравнении (2) сила F_{xi} под воздействием которой вагон входит в ЗТ, может включать проекцию силы попутного ветра малой величины F_{Bx} (например, $F_{Bxi} \approx 3,2$ кН, что ничтожно мало по сравнению с величиной силы тяжести груженого вагона с невращающимися частями $G_1 = 794$ кН), если сортировочная горка спроектирована на местности, где направление попутного ветра юго-западное. Его учет предусмотрен в формулах (4.5) и/или (4.7) [17].

В силу сопротивления $|F_{ci}| = -F_{TP}$, под воздействием которой вагон может тормозить вплоть до своей остановки (т.е. $v_{Ti} = 0$) вагонным замедлителем, допускается включать



проекцию силы встречного ветра малой величины $F_{в.хi}$ (например, $F_{в.хi} \approx 3,2$ кН), если сортировочная горка спроектирована на местности, где, например, встречный ветер юго-восточного направления. Его учет также предусмотрен формулами (4.5) и/или (4.7) [17].

Отметим, что в ЗТ вагона строго соблюдается условие $F_{xi} \ll |F_{ci}| = -F_{Ti}$. Причем может быть, что значение $F_{xi} \approx 0$, тогда вагон входит в ЗТ участка ТП с начальной скоростью $v_{вх.н}$ равной скорости в конце предыдущего участка горки v_k , т.е. $v_{вх.н} = v_k$.

Особо оговорим, что в действительности сила всякого сопротивления $|F_{ci}| = -F_{Ti}$ не есть величина постоянная ($|F_{ci}| = -F_{Ti} \neq \text{const}$), а по мере снижения скорости вагона в ЗТ на участках ТП она увеличивается, поскольку за время торможения t в ЗТ входят почти все колесные пары вагона.

При известных величинах сил F_{xi} и $|F_{ci}| = |F_{Ti}| = -F_{Ti}$ из уравнения (2) непосредственно находим ускорение движения вагона при скольжении его колесных пар по тормозным шинам вагонного замедлителя в ЗТ на участках ТП:

$$|a_{абс.хi}| = \frac{|F_{xi} - F_{ci}|}{M_{Св}} 10^3,$$

где i — номера участков на всем протяжении профиля пути сортировочной горки ($i = 1, \dots, 9$).

Переобозначая $a_{абс.хi}$ через a_{kTi} а $M_{Св}$ через $M_{пр0}$ и учитывая, что $F_{ci} = F_{Ti} \gg F_{xi}$ последнюю формулу представим в конечном виде

$$|a_{kTi}| = \frac{|F_{xi} - F_{ci}|}{M_{пр0}} 10^3, \quad (4)$$

где $|a_{kTi}|$ — ускорение вагона при равнозамедленном движении в ЗТ, имеющее отрицательный знак (здесь $|a_{kTi}|$ — модуль a_{kTi} [21]), м/с²;

$M_{пр0}$ — приведенная и/или воображаемая масса (см. с. 453–457 в [22] и с. 353 в [23]) груженого вагона совместно с невращающимися частями (т.е. кузов вагона, тележки и колесные пары) и/или при чистом скольжении колесных пар, принужденно зажатых тормозными шинами вагонного замедлителя в ЗТ на участках ТП, рассчитываемая по формуле

$$M_{пр0} = M_1 + n_{кп} m_{кп}, \quad (5)$$

где M_1 — масса груженого вагона с невращающимися частями (т.е. кузов вагона и тележки), кг;

$n_{кп}$ — количество колесных пар в одиночном вагоне, шт.;

$m_{кп}$ — масса одной колесной пары, кг.

Отметим, что относительная ошибка $\delta M_{пр0}$ при неучете массы вращающихся частей (колесных пар) вагона, что равносильно $M_{пр0} = M_{пр}$ где $M_{пр}$ — приведенная и/или воображаемая масса [22, 23] вагона с грузом, кг, с учетом момента инерции вращающихся частей J_C , т.е. колесных пар, составляет 4,2 % (менее 5 %), и при выполнении инженерных расчетов ею обычно пренебрегают.

Как видно, в формуле (4) $|F_{ci}| \gg F_{xi}$. Поэтому ускорение при равнозамедленном движении вагона в ЗТ на участках ТП имеет отрицательный знак [3–5]. С учетом модуля запишем

$$|a_{kTi}| = \frac{|\Delta F_{Ti}|}{M_{пр0}} 10^3, \quad (6)$$

где $|\Delta F_{Ti}|$ — результирующая сила, под воздействием которой колесные пары вагона скользят по поверхностям катания рельсовых нитей и тормозным шинам вагонного замедлителя в ЗТ на участках ТП, кН,

$$|\Delta F_{Ti}| = F_{xi} + |F_{ci}|; \quad (7)$$

$|a_{kTi}| = a_{kTi} \cdot \text{sgn} \Delta F_{Ti}$ — функция-модуль, причем $|a_{kTi}| = -a_{kTi}$ если $|\Delta F_{Ti}| < 0$ [21].

Из формулы (6) следует, что при соблюдении условия $|\Delta F_{Ti}| < 0$ и/или $|F_{ci}| > F_{xi}$ движение вагона в ЗТ на участке ТП при начальной скорости $v_{нTi} > 0$ будет равнозамедленным до того момента, пока скорость не станет равной нулю [20, с. 287].

Таким образом, формулами (4) и/или (6) математически доказано, что линейное ускорение вагона при равнозамедленном движении в ЗТ на участках ТП сортировочной горки $|a_{kTi}| = -a_{kTi}$ зависит от силы F_{xi} от силы $|F_{ci}|$, включая силу сухого трения $F_{Тр}$; как основное сопротивление F_{oir} а также от массы $M_{пр0}$, т.е.

$$|a_{kTi}| = f(F_{xi}, F_{ci}, M_{пр0}). \quad (8)$$

Обобщая результаты исследований динамики вагона в ЗТ на участках ТП, можно заключить, что корректность формул (4) и/или (6) становится очевидной, неоспоримой и не вызывающей возражений, поскольку опирается на классический принцип теоретической механики [18–20].

Как видно, принцип Д'Аламбера, как теоретическая база зависимости (8), позволяет непосредственно определить ускорение вагона при его торможении на участках ТП горки, сопровождаемое чистым скольжением колес колесных пар по контактирующим поверхностям рельсовых нитей и тормозных шин замедлителя, и не прибегать к составлению уравнения движения, что является преимуществом этого принципа.

Общеизвестна формула скорости тела из элементарной физики, применимая для определения скорости скольжения до момента остановки вагона ($t < t_{Ti}$ где t — текущее время):

$$v_{kTi} = v_{нTi} + |a_{kTi}| t_{Ti}. \quad (9)$$

Поскольку когда одиночный вагон находится в пределах ТП и в общем случае его скорость снижается практически до нуля (т.е. вагон движется с замедлением вплоть до полной остановки) за счет чистого скольжения обода колес относительно тормозных шин вагонных замедлителей, то из формулы (9) получаем

$$0 = v_{нTi} + |a_{kTi}| t_{Ti},$$

откуда определяем время торможения вагона в ЗТ

$$t_{Ti} = \frac{v_{н.тi}}{|a_{kti}|} \quad (10)$$

Как видно, t_{Ti} увеличивается пропорционально начальной скорости $v_{н.тi}$.

Особо оговорим, что время торможения вагона t_{Ti} вычисленное по формуле (10), имеет отрицательный знак, который указывает на замедление движения и на то, что $t_{Ti} < t$ (см. формулу (4.80) [20]).

По формуле (10) может быть рассчитана скорость скольжения v_{kti} в ЗТ до момента остановки вагона (т.е. при $v_{kti} \neq 0$) в момент $t < t_{Ti}$ с.

Путь торможения вагона l_{kti} найдем по общеизвестной из элементарной физики формуле

$$l_{kti} = v_{н.тi}t_{Ti} + \frac{1}{2}|a_{kti}|t_{Ti}^2 \quad (11)$$

Формула (11) справедлива, согласно формуле (10), до момента $t_{Ti} < t$. Заметим, что время торможения вагона $t_{зат}$ при соблюдении неравенства $t < t_{зат}$, при котором $v_{к.зат} \neq 0$, может быть рассчитано по формуле (9).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Для примера рассмотрим участок второй тормозной позиции (2ТП) сортировочной горки. При этом будем учитывать силу попутного ветра малой величины $F_{вх} \approx 3,2$ кН. Исходные данные: для малых углов ($\sin \psi_{2Т} \approx \psi_{2Т}$) уклон профиля пути $i_{2Т} = 0,010$ рад. (или 10 ‰); $G = 650$ кН; $G_1 = 794$ кН; $F_{xi} = 11,13$ кН с учетом силы попутного ветра малой величины ($F_{вх} = 3,2$ кН); $|F_{c2}| = -F_{c2} \approx -222,84$ кН — модуль силы сопротивления всякого рода (учет силы прижатия тормозных колодок вагонных замедлителей на обода колес вагона при скорости его входа в зону торможения $v_{вх.т} \leq 6,5$ м/с: $F_{торм} = 23,75$ кН, согласно [24], $F_{тк} = 90$ или 100 кН); $F_{20i} = 0,25G_1 = 198,5$ кН; $F_{св} = 0,0005G_1 \approx 0,4$ кН; $F_{си} = 0,00025G_1 \approx 0,2$ кН; $M_{в.гр} = 6,624 \cdot 10^4$ кг — масса вагона с грузом; $M_T = 1,468 \cdot 10^4$ кг — масса двух тележек; $M_{пp0} = 8,869 \cdot 10^4$ кг.

Отметим, что силой попутного ветра малой величины ($F_{вх} \approx 3,2$ кН) практически можно пренебречь, так как ее значение несущественно по сравнению с величиной силы трения скольжения колесных пар о сжатые тормозные шины ($F_{тр.ск2} = 198,5$ кН), т.е. $F_{вх} \ll F_{тр.ск2}$, или $3,2 \ll 198,5$ кН.

Результаты вычислений. Сила, под воздействием которой вагон движется в зоне торможения: $F_2 = (G_1 i_{2Т} + F_{вх}) = (794 \cdot 0,010 + 3,2) \approx 11,13$ кН.

Модуль силы сопротивления всякого рода вычислен по формуле: $|F_{c2}| = |(F_{торм} + F_{20} + F_{св} + F_{си})| = |(23,75 + 198,5 + 0,4 + 0,2)| \approx -222,84$ кН. Следует учесть, что, сравнивая значения силы, оказывающей сопротивление движению вагона в ЗТ ($F_{торм} = 23,75$ кН), и силы основного сопротивления ($F_{20} = 198,5$ кН), влиянием сил сопротивления воздушной среды

и ветра ($F_{св} = 0,4$ кН), а также снега и инея ($F_{си} = 0,2$ кН) на движение вагона на участках торможения можно пренебречь.

В соответствии с формулой (7) результирующая сила, под воздействием которой происходит торможение вагона на ТП: $\Delta F_{2Т} = F_{2x} + |F_{c2}| = 11,13 - 222,84 \approx -211,7$ кН. Как видно, $|F_{c2}| \gg F_{2x}$.

Согласно формуле (6), ускорение при равнозамедленном движении вагона в ЗТ на участке 2ТП: $|a_{Т2}| = -a_{Т2} = |\Delta F_{Т2}| \times 10^3 / M_{пp0} = |211,71| \cdot 10^3 / (8,869 \cdot 10^4) = -2,387$ м/с².

Покажем графическую зависимость $|a_{Т2}| = f(M_0)$, построенную при вариации $M_{пp0}$ от $1,24 \cdot 10^4$ до $8,869 \cdot 10^4$ с шагом $\Delta M_{пp0} = 1,25 \cdot 10^4$ кг (рис. 1) [25].

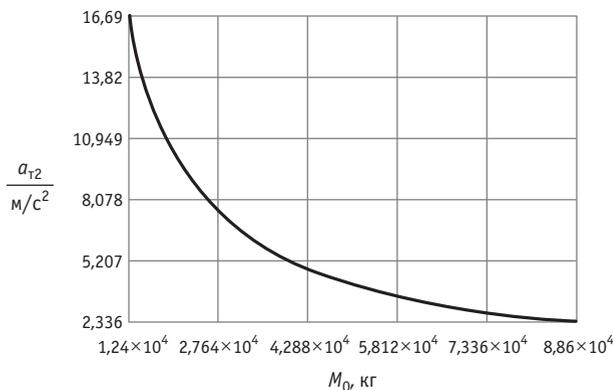


Рис. 1. Графическая зависимость $|a_{Т2}| = f(M_0)$

Как видно из рис. 1, зависимость $|a_{Т2}| = f(M_0)$, согласно формуле (6), с увеличением значения $M_{пp0}$ снижается, асимптотически приближаясь к нулю ([21, с. 94–95]), что выражает характер изменения равнозамедленного движения вагона в ЗТ на участках ТП.

Вычислим ускорение при равнозамедленном движении вагона в ЗТ на участке 2ТП по формуле (6), подставив вместо $M_{пp0}$ значение $M_{пp}$ т.е. $|a_{Т2}| = |\Delta F_{2Т}| \cdot 10^3 / M_{пp} = |211,71| \times 10^3 / (9,256 \cdot 10^4) \approx -2,287$ м/с².

Относительная ошибка составляет $\delta |a_{Т2}| = 4,18 \approx 4,2$ %, что меньше, чем точность инженерных расчетов (≈ 5 %). Следовательно, при выполнении проектировочных расчетов учет и/или неучет момента инерции вращающихся частей не окажет существенного влияния на конечный результат.

Время торможения $t_{зат2} = t_{Т2}$, по истечении которого происходит практически полная остановка вагона ($v_{Т2} \approx 0$ м/с), в соответствии с формулой (10) составит $t_{Т2} = 1,625$ с.

Отметим, что в момент торможения вагона, при котором текущее время t меньше, чем $t_{зат2}$, и $v_{к.зат2} \neq 0$, скорость движения может быть рассчитана по формуле (9). Например, при $t = 1,0$ с скорость вагона при чистом скольжении колес до момента остановки $v_{к.зат2} = 1,182$ м/с, при $t = 1,2$ с $v_{к.зат2} = 0,705$ м/с и, наконец, при $t = t_{Т2} = 1,495$ с $v_{к.зат2} = 0$ м/с.

Путь торможения $l_{Т2}$, рассчитанный по формуле (11), составит $l_{Т2} = 3,152 \approx 3,15$ м.

Графическая зависимость $x_{2Т} = l_{Т2} = f(t_{Т2})$, построенная на основе формулы (11) при вариации $t_{Т2}$ от 1,0 до 1,8 с (с шагом $\Delta t_{Т2} = 0,1$ с), представлена на рис. 2 [25].

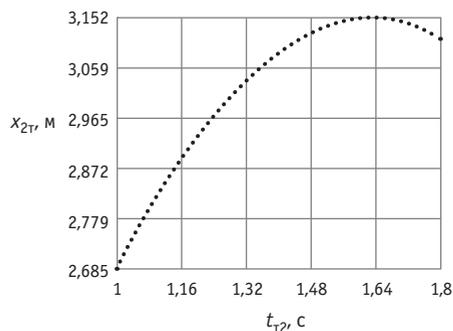


Рис. 2. Графическая зависимость $x_{2r} = l_{t2} = f(t_{2r})$

Из рис. 2 ясно, что в соответствии с видом формулы (11) графическая зависимость имеет характер возрастающей квадратичной зависимости до момента остановки вагона.

Литература

1. Туранов Х. Т., Гордиенко А. А. Некоторые проблемы теоретических предпосылок динамики скатывания вагона по уклону сортировочной горки // Бюллетень транспортной информации. 2015. № 3 (237). С. 29–36. ISSN 2072–8115.
2. Туранов Х. Т., Гордиенко А. А. О попытке доказательства корректности существующего метода исследования движения вагона по спускной части сортировочной горки // Бюллетень транспортной информации. 2016. № 10 (256). С. 19–24. ISSN 2072–8115.
3. Turanov Kh., Gordienko A., Plakhotich I. Simplified analytical description of wagon movement with braking action on the marshalling hump section of the first braking position under the impact of fair wind // Science and Technology. 2015. Vol. 5. No. 4. Pp. 57–62. ID: 104000150. DOI: 10.5923/j.scit.2015.04.01. e-ISSN: 2163–2677.
4. Туранов Х. Т., Гордиенко А. А., Плахотич И. С. Пример расчета скорости вагона на участке первой тормозной позиции сортировочной горки с затормаживанием при воздействии попутного ветра // Бюллетень транспортной информации. 2015. № 12 (246). С. 29–35. ISSN 2072–8115.
5. Туранов Х. Т., Гордиенко А. А. Пример расчета времени, скорости и пути торможения вагона на участке второй тормозной позиции сортировочной горки при воздействии встречного ветра малой величины // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2016. Т. 75. № 2. С. 123–128. ISSN 2223–9731.
6. Тимухина Е. Н., Гордиенко А. А., Плахотич И. С. Результаты исследований параметров движения вагона по спускной части сортировочной горки при различных режимах прохода тормозных позиций // Транспорт Урала. 2017. № 2 (53). С. 28–31. DOI: 10.20291/1815-9400-2017-2-28-31. ISSN 1815–9400.
7. Рудановский В. М., Старшов И. П., Кобзев В. А. О попытке критики теоретических положений динамики скатывания вагона по уклону сортировочной горки // Бюллетень транспортной информации. 2016. № 6 (252). С. 19–28. ISSN 2072–8115.
8. К вопросу движения вагона по уклону железнодорожного пути / Ю. О. Пазойский, В. А. Кобзев, И. П. Старшов, В. М. Рудановский // Бюллетень транспортной информации. 2018. № 2 (272). С. 35–38. ISSN 2072–8115.

Обобщая результаты расчетов времени $t_{\text{зат}}$ и пути торможения $l_{\text{зат}}$ вагона, выполненных на основе формул (10) и (11), отметим корректность и применимость построенных математических моделей к зоне торможения на всех участках тормозных позиций.

ВЫВОДЫ

1. Впервые на основе закона динамики для неидеальных связей (принципа Д'Аламбера) математически описано решение инженерной задачи торможения вагона в зоне торможения на участках тормозных позиций сортировочной горки.

2. Результатами расчетов времени и пути торможения вагона, выполненными на основе формул (10) и (11), подтверждена корректность и применимость построенных математических моделей к зоне торможения вагона на всех участках тормозных позиций.

References

1. Turanov Kh. T., Gordienko A. A. Some problems of theoretical precondition of dynamics of car rolling on inclination of a marshalling hump [Nekotorye problemy teoreticheskikh predposylok dinamiki skatyvaniya vagona po uklonu sortirovochnoy gorki] // Bulletin of Transport Information. 2015. No. 3 (237). Pp. 29–36. ISSN 2072-8115.
2. Turanov Kh. T., Gordienko A. A. About the attempt to prove the correctness of a new method relating to the research of a car movement on the slope of a marshalling hump [O popytke dokazatel'stva korrektnosti sushhestvuyushhego metoda issledovaniya dvizheniya vagona po spusknoy chasti sortirovochnoy gorki] // Bulletin of Transport Information. 2016. No. 10 (256). Pp. 19–24. ISSN 2072-8115.
3. Turanov Kh., Gordienko A., Plakhotich I. Simplified analytical description of wagon movement with braking action on the marshalling hump section of the first braking position under the impact of fair wind // Science and Technology. 2015. Vol. 5. No. 4. Pp. 57–62. ID: 104000150. DOI: 10.5923/j.scit.2015.04.01. e-ISSN: 2163-2677.
4. Turanov Kh. T., Gordienko A. A., Plakhotich I. S. An example of calculation of a speed of the car on the first hump brake position exposed to the favoring wind [Primer rascheta skorosti vagona na uchastke pervoy tormoznoy pozitsii sortirovochnoy gorki s zatormazhivaniem pri vozdeystvii poputnogo vetra] // Bulletin of Transport Information. 2015. No. 12 (246). Pp. 29–35. ISSN 2072-8115.
5. Turanov Kh. T., Gordienko A. A. An example of calculating time, speed and brake way of the car on the site of the second braking position at the hump yard under the influence of small crosswinds [Primer rascheta vremeni, skorosti i puti tormozheniya vagona na uchastke vtoroy tormoznoy pozitsii sortirovochnoy gorki pri vozdeystvii vstrechnogo vetra maloy velichiny] // Vestnik of the Railway Research Institute. 2016. Vol. 75. No. 2. Pp. 123–128. ISSN 2223-9731.
6. Timukhina E. N., Gordienko A. A., Plakhotich I. S. Results of investigations of car movement parameters on the lowering part of sorting hump in different walk-through modes of brake positions [Rezultaty issledovaniya parametrov dvizheniya vagona po spusknoy chasti sortirovochnoy gorki pri razlichnykh rezhimakh prokhoda tormoznykh pozitsiy] // Transport of the Urals. No. 2 (53). Pp. 28–31. DOI: 10.20291/1815-9400-2017-2-28-31. ISSN 1815-9400.
7. Rudanovsky V. M., Starshov I. P., Kobzev V. A. About the attempt of criticism of theoretical positions on dynamics of the car rolling on the marshalling hump slope [O popytke kritiki teoreticheskikh polozheniy dinamiki skatyvaniya vagona po uklonu sortirovochnoy gorki] // Bulletin of Transport Information. 2016. No. 6 (252). Pp. 19–28. ISSN 2072-8115.
8. On the question of car movement on the railway track incline [K voprosu dvizheniya vagona po uklonu zheleznodorozhnogo puti] / Yu. O. Pazoysky, V. A. Kobzev, I. P. Starshov, V. M. Rudanovsky // Bulletin of Transport Information. 2018. No. 2 (272). Pp. 35–38. ISSN 2072-8115.

9. Образцов В. Н. Станции и узлы. Ч. II. М. : Трансжелдориздат, 1938. 492 с.
10. Земблинов С. В., Страковский И. И. Станции и узлы М. : Трансжелдориздат, 1963. 348 с.
11. Савченко И. Е., Земблинов С. В., Страковский И. И. Железнодорожные станции и узлы : учеб. для вузов ж.-д. трансп. М. : Транспорт, 1967. 466 с.
12. Сортировочные горки большой мощности : пособие к курсовому и дипломному проектированию / В. П. Парфенов, М. М. Филиппов, М. М. Уздин, В. П. Павлов. Л. : ЛИИЖТ, 1972. 80 с.
13. Железнодорожные станции и узлы : учеб. / Под ред. В. М. Акулиничева. М. : Транспорт, 1992. С. 207–253.
14. Проектирование инфраструктуры железнодорожного транспорта (станции, железнодорожные и транспортные узлы) : учеб. / Под ред. Н. В. Правдина и С. П. Вакуленко. М. : УМЦ ЖДТ, 2012. 1086 с.
15. Железнодорожные станции и узлы : учеб. / Под ред. В. И. Апатцева и Ю. И. Ефименко. М. : УМЦ ЖДТ, 2014. 855 с.
16. Инструкция по проектированию станций и узлов на железных дорогах. ВСН 56–78. М. : Транспорт, 1978. С. 151–168.
17. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах колеи 1520 мм. М. : Техинформ, 2003. 168 с.
18. Николай Е. Л. Теоретическая механика. Ч. II. Динамика. М. ; Л. : GIFML, 1952. 484 с.
19. Лойцянский Л. Г., Лурье А. И. Курс теоретической механики. Т. II. Динамика. М. : Наука, 1983. 640 с.
20. Туранов Х. Т. Теоретическая механика в специальных задачах грузовых перевозок. Новосибирск : Наука ; Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2012. 447 с.
21. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. М. : Наука, 1980. 976 с.
22. Кожевников С. Н. Теория механизмов и машин. М. : Машиностроение, 1973. 592 с.
23. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин. М. : Наука, 1975. 640 с.
24. Кобзев В. А. Технические средства сортировочных горок, обеспечивающие безопасность движения : учеб. пособие. Ч. 1. М. : МИИТ, 2009. 92 с.
25. Кирьянов Д. В. Mathcad 15 / Mathcad Prime 1.0. СПб. : БХВ-Петербург, 2012. 432 с.
9. Obraztsov V. N. Stations and junctions. Part II [Stantsii i uzly]. М. : Transzheldorizdat, 1938. 492 p.
10. Zemblinov S. V., Strakovskiy I. I. Stations and junctions [Stantsii i uzly]. М. : Transzheldorizdat, 1963. 348 p.
11. Savchenko I. E., Zemblinov S. V., Strakovskiy I. I. Railway stations and junctions [Zheleznodorozhnye stantsii i uzly] : textbook for railway universities. М. : Transport, 1967. 466 p.
12. High-capacity humps [Sortirovochnye gorki bol'shoy moshhnosti] : guidance for preparing course and diploma projects / V. P. Parfenov, M. M. Filippov, M. M. Uzdin, V. P. Pavlov. L. : LIIZhT, 1972. 80 p.
13. Railway stations and junctions [Zheleznodorozhnye stantsii i uzly] : textbook / Ed. by V. M. Akulinichev. М. : Transport, 1992. Pp. 207–253.
14. Design of railway transport infrastructure (stations, railway and transport junctions) [Proektirovanie infrastruktury zheleznodorozhnogo transporta (stantsii, zheleznodorozhnye i transportnye uzly)] : textbook / Ed. by N. V. Pravdin and S. P. Vakulenko. М. : UMТs ZhDT, 2012. 1086 p.
15. Railway stations and junctions [Zheleznodorozhnye stantsii i uzly] : textbook / Ed. by V. I. Apattsev and Yu. I. Efimenko. М. : UMТs ZhDT, 2014. 855 p.
16. Instructions on design of railway stations and junctions. VCN 56–78 [Instruktsiya po proektirovaniyu stantsiy i uzlov na zheleznykh dorogakh. VCN 56–78]. М. : Transport, 1978. Pp. 151–168.
17. Rules and regulations for design of sorting devices on 1520 mm railways tracks [Pravila i normy proektirovaniya sortirovochnykh ustroystv na zheleznykh dorogakh kolei 1520 mm]. М. : Tekhinform, 2003. 168 p.
18. Nikolay E. L. Theoretical mechanics. Part II. Dynamics [Teoreticheskaya mekhanika. Ch. II. Dinamika]. М. ; L. : GIFML, 1952. 484 p.
19. Loytsyanskiy L. G., Lurye A. I. Course of theoretical mechanics. Vol. II. Dynamics [Kurs teoreticheskoy mekhaniki. T. II. Dinamika]. М. : Science, 1983. 640 p.
20. Turanov Kh. T. Theoretical mechanics in special tasks on cargo transportation [Teoreticheskaya mekhanika v spetsial'nykh zadachakh gruzovykh perevozok]. Novosibirsk : Science ; Ekaterinburg : Publishing House of USURT, 2012. 447 p.
21. Bronshteyn I. N., Semendyaev K. A. Handbook on mathematics for engineers and students of technical universities [Spravochnik po matematike dlya inzhenerov i uchashhikhsya vtuzov]. М. : Science, 1980. 976 p.
22. Kozhevnikov S. N. Theory of mechanisms and machines [Teoriya mekhanizmov i mashin]. М. : Machinery, 1973. 592 p.
23. Artobolevskiy I. I. Theory of mechanisms and machines [Teoriya mekhanizmov i mashin]. М. : Science, 1975. 640 p.
24. Kobzev V. A. Marshalling yards facilities to ensure traffic safety [Tekhnicheskie sredstva sortirovochnykh gorok, obespechivayushhie bezopasnost' dvizheniya] : textbook. Part 1. М. : MIIT, 2009. 92 p.
25. Kiryanov D. V. Mathcad 15 / Mathcad Prime 1.0. SPb. : BHV-Petersburg, 2012. 432 p.

Объем статьи 0,73 авторских листа

УДК 656.02:332.132:553.8

Петр Иванович Тарасов, кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе ООО «Перспектива-М», Екатеринбург, Россия,

Геннадий Львович Аккерман, доктор технических наук, профессор кафедры «Путь и железнодорожное строительство» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, Россия,

Олег Ведмирович Голубев, кандидат технических наук, доцент кафедры «Путь и железнодорожное строительство» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, Россия

МЕРИДИОНАЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТНЫЙ КОРИДОР, ОБЪЕДИНЯЮЩИЙ СЕВЕРНЫЙ МОРСКОЙ ПУТЬ, СЕВЕРНЫЙ ШИРОТНЫЙ ХОД, БАМ И ТРАНССИБ С КИТАЕМ

Petr Ivanovich Tarasov, PhD in Engineering, Deputy Director for Scientific Work, LLC «Perspektiva-M», Ekaterinburg, Russia,

Gennadiy L'vovich Akkerman, DSc in Engineering, Professor, Railway Construction and Railway Track Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg, Russia,

Oleg Vedimirovich Golubev, PhD in Engineering, Associate Professor, Railway Construction and Railway Track Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg, Russia

Meridional transport corridor uniting the Northern Sea Route, the Northern Latitudinal Railway, the BAM and the Trans-Siberian Railway with China

Аннотация

В статье анализируются факторы, способствующие строительству транспортного коридора на территории Западной Якутии (Якутский транспортный коридор — ЯТК), который позволит объединить Северный морской путь, Северный широтный ход, БАМ и Транссиб с Китаем и обеспечит социально-экономическое развитие региона. В дальнейшем предлагаемая хребтовая магистраль станет связующим звеном между Европой, Азией и Африкой. Одна из ключевых особенностей маршрута ЯТК — возможность использовать в качестве строительного материала пустые породы, расположенные строго в меридиональном направлении от Северного Ледовитого океана до Мирного (Якутия). В настоящее время их объем превышает 1 млрд м³, что достаточно для строительства более 20 тыс. км двухпутных магистралей промышленного и гражданского назначения. На некоторых участках возможно применение безотвальной технологии разработки, что особенно актуально для беднотоварных кимберлитовых месторождений АК «АЛРОСА». Для освоения месторождений, расположенных на значительном удалении от хребтовой магистрали, предлагается использовать специализированные транспортные средства, способные перемещаться по сборно-разборной конструкции облегченной железной дороги.

Ключевые слова: меридиональный транспортный коридор, пустая порода, облегченная железная дорога, хребтовая магистраль.

Summary

The paper analyzes the factors that contribute to the construction of a transport corridor on the territory of the Western Yakutia (The Yakut Transport Corridor — the YTC), which will unite the Northern Sea Route, the Northern Latitudinal Railway, the BAM and the Trans-Siberian Railway with China and ensure the social and economic development of the region. In future, the proposed backbone mainline will become a link between Europe, Asia and Africa. One of the key features of the YTC route is the ability to use as a construction material the waste rock, located strictly in the meridional direction from the Arctic Ocean to Mirny (Yakutia). Currently, their volume exceeds 1 billion m³, which is enough for the construction of more than 20 thousand km of double-track railway lines for industrial and civil use. In some areas, it is possible to use a dump-free mining technology, which is especially important for the poor kimberlite deposits of the «ALROSA». For the development of deposits located at a considerable distance from the backbone mainline, it is proposed to use specialized vehicles capable of moving on the collapsible structure of the lightweight railway.

Keywords: meridional transport corridor, waste rock, the lightweight railway, backbone mainline.

DOI: 10.20291/1815-9400-2018-2-9-14

Освоение арктических территорий российского Севера — вопрос государственной важности, одна из ключевых задач национального развития Российской Федерации и международного сотрудничества.

Россия — крупнейшая арктическая держава, которая несет особую ответственность за положение дел в регионе, за превращение его в главную ресурсную базу страны и одновременно в зону мирного сотрудничества. В настоящее время на Крайнем Севере добывается более 90 % российского никеля и кобальта, 60 % меди, более 96 % металлов платиновой группы, извлекается около 80 % газа и 60 % нефти.

Самой короткой дорогой, соединяющей два океана — Атлантический и Тихий, и самым ближним выходом в Европу, к западным провинциям Канады и западным штатам США является Северный морской путь. Однако до настоящего времени на всем своем протяжении круглогодично он практически не эксплуатируется (это возможно обеспечить только до порта Диксон).

В связи с расширением Евразийского экономического союза (ЕАЭС), участниками которого уже стали Россия, Республика Беларусь, Казахстан, Армения и Киргизия, предстоит значительное расширение географии транспортных схем для выхода на мировой рынок. На данный момент основное транспортное обеспечение производственной и социальной инфраструктуры Севера представлено авиационным и морским видами транспорта. Однако в условиях расширения производства вскоре потребуются системная организация связи арктических и приполярных территорий с внутренними регионами страны, а также со странами ЕАЭС [1].

В сложившейся ситуации освоение и вовлечение в хозяйственную деятельность природных богатств Сибири и Дальнего Востока, создание соответствующей транспортной инфраструктуры диктуются не только экономическими, но и геополитическими соображениями. Использование транзитного потенциала России — это не только приоритет развития транспортной системы, но и самостоятельная точка роста экономики и экспорта транспортных услуг.

Многолетний опыт освоения Арктической зоны РФ, изучения ее особенностей, потребностей региона стал основанием идеи строительства Якутского транспортного коридора (далее — ЯТК).

Сегодня более 85 % территории Республики Саха (Якутия) характеризуется сезонной транспортной доступностью, и только 8 % находится в зоне круглогодичного обслуживания транспортом [2], что существенно тормозит социально-экономическое и промышленное развитие региона. В соответствии со стратегическими планами здесь предусмотрено формирование единого транспортного пространства, обеспеченного целостной инфраструктурой. Транспортно-логистическое развитие северных районов России следует начинать со строительства меридионального транспортного коридора на основе использования экономичных и эффективных технологий. Предлагаемый маршрут ЯТК позволит обеспечить круглогодичную работу части Северного морского пути от Мурманска до Диксона и Юрюнг-Хая, а в дальнейшем станет связующим звеном между Европой, Азией и Африкой.

Сухопутный маршрут ЯТК разделяется на 12 отрезков, относительно равных по протяженности друг другу, т.е. каждый

участок имеет головную базу, с которой можно начинать строительство: Олекминск — Мирный — Чернышевский — Айхал — Удачный — Оленек — Анабар — Саскылах — Юрюнг-Хая, другая ветка — это Хатанга — Норильск — Диксон.

По сравнению с другими вариантами меридиональных транспортных магистралей ЯТК, безусловно, имеет ряд преимуществ: отсутствие по пути прокладки маршрута значительных водных преград (рек, озер и т.д.), высокогорных массивов и хребтов; наличие пустых пород, расположенных строго в меридиональном направлении от Северного Ледовитого океана до города Мирный (Якутия);

наличие на проектируемой трассе и вблизи нее ряда месторождений, на которых можно применять безотвалыные способы разработки, если там есть пригодные для строительства вскрышные породы;

наличие перед портом Диксон равнинной территории, где возможно разместить логистический центр, который позволит реализовать безостановочную погрузку и разгрузку судов, а также наличие в относительно небольшой удаленности от порта Диксон запасных аэропортов.

Известно, что преимущество создания любой транспортной магистрали заключается в том, чтобы строительный материал находился вблизи от нее. Относительно строительства транспортного коридора в Западной Якутии [3] основной идеей является обоснование разработки кимберлитовых месторождений (рис. 1), за время эксплуатации которых накоплены существенные объемы (более 1 млрд м³) пустой породы (табл. 1).

Таблица 1

Объемы пустых пород, расположенных вдоль маршрута ЯТК, млн м³

Кимберлитовая трубка	Пустые породы	
	находящиеся в отвалах	образуемые после разработки перспективных месторождений алмазов
1. Интернациональная	34	—
2. Заря	—	40
3. Мир	140	—
4. Ботубинская	13,8	170
5. Нюрбинская	120	170
6. Магнитная	—	80
7. Айхал	48,5	—
8. Юбилейная	305	—
9. Сытыканская	55	—
10. Комсомольская	70	—
11. Без названия	Показатели уточняются	
12. Удачная	360	—
13. Зарница	10	100
14. Заполярная	—	90
15. Майская	—	84
16. Без названия	Показатели уточняются	
17. Без названия	Показатели уточняются	

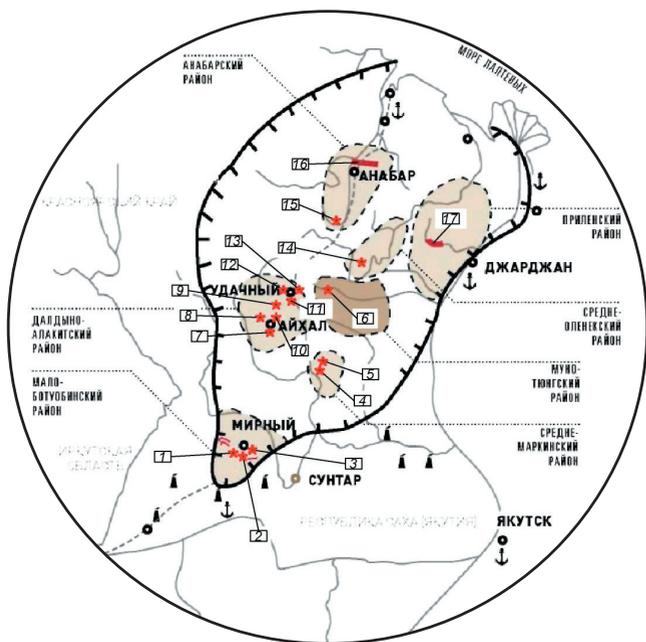


Рис. 1. Расположение месторождений алмазов в Республике Саха (Якутия):
1–17 — кимберлитовые трубки (см. табл. 1)

Порода в данных отвалах достаточно долгое время слеживалась, представляет собой разнокусковый массив и может быть использована в качестве материала для строительства транспортных магистралей [4]. Соответственно сама трасса должна пройти вблизи отвалов пустых пород.

На первых этапах предполагается создание технологических транспортных артерий из автомобильных, а в дальнейшем и железных дорог, которые будут проходить по всей территории Якутской алмазоносной провинции и одновременно могут стать основой ЯТК [5] (рис. 2).

Предполагается, что материал, вывозимый из карьеров, в условиях Арктики и прилегающих северных территорий будет доставляться многозвенными автопоездами непосредственно к строящемуся участку дороги [6]. Это не только сократит трудовые, временные и экономические затраты при разработке месторождения, но и снизит выбросы вредных веществ в атмосферу. При этом необходимо рассматривать нетрадиционные способы возведения тела земляного полотна, например, с использованием специализированного комплекса по формированию утрамбованных призм, которые послужат основанием для вышележащих слоев грунта.

Проектировать трассу предлагается поперечным профилем с минимальной площадью и с учетом условия снеготаносимости. При этом земляное полотно может быть запроектировано как для конкретного вида транспорта (автомобильного или железнодорожного), так и для совмещенного расположения автомобильной и железной дорог с одним направлением движения. Использование такой технологии строительства хорошо вписывается в идею организации именно мультимодальных транспортных коридоров.

Эти дороги дадут возможность связать все алмазодобывающие и иные предприятия Западной Якутии, а для России объединить через Тикси (или Юрюнг-Хая и порт Диксон) материковую часть с Северным морским путем, через Усть-Кут — с западной частью России, Казахстаном и Средней Азией, через Якутск — с восточной частью России до берегов Тихого океана [6, 7].

Выполнение проектов по строительству единого транспортного пространства, обеспеченного взаимосвязанной инфраструктурой, позволит успешно реализовать хозяйственно-экономические проекты, создаст условия для свободного перемещения товаров и рабочей силы. Главные порты Якутии, имеющие развитую складскую систему и систему связи (Якутск, Ленск, Тикси), возьмут на себя функции транспортно-распределительных центров, обеспечивающих комплексное обслуживание товаропроводящей сети. Основой их деятельности будет комплексное взаимодействие всех видов транспорта, терминального и складского хозяйства, систем информационного, телекоммуникационного и страхового сопровождения грузов на территории зоны тяготения узла [8–10].

Такой же мощный транспортно-распределительный центр необходимо создать в Мирном.

Для реализации этого проекта на настоящий момент существует множество факторов, которые делают целесообразным и осуществимым строительство транспортного коридора в Якутии (табл. 2).

Этот коридор позволит связать несколько частей света через Северный морской путь.

В настоящее время очевидно, что последующее экономическое развитие России невозможно без дальнейшего освоения Арктики и Севера, роль которых будет возрастать. Через Арктику проходят кратчайшие морские пути между рынками Северо-Западной Европы и Тихоокеанского региона. Кроме того, Север — единственный на западе открытый выход России в Атлантику, ее морские ворота для ведения торговли с государствами Европы и Америки [11–13].

Строительство ЯТК станет весомым вкладом в дальнейшее развитие транспортных магистралей России. Проекты по созданию транспортных коридоров предполагается осуществлять в несколько этапов:

магистраль, которая пройдет от Олекминска до Юрюнг-Хая и далее до порта Диксон;

от порта Диксон далее по Северному морскому пути грузы должны поступать в Архангельск, Мурманск, порты стран Западной Европы;

соединение сети железных дорог Китая на западе страны с железнодорожной сетью Республики Алтай, а также достройка железной дороги от Ленска до Мирного после реализации транспортной стратегии России в части строительства железной дороги до Ленска.

Таким образом, речь уже идет о более крупном проекте — Евразийском транспортном коридоре, он, в свою очередь, может стать составной частью глобального проекта по формированию транспортных магистралей, которые соединят страны АТР, Европы, Индийского океана и даже Африки.

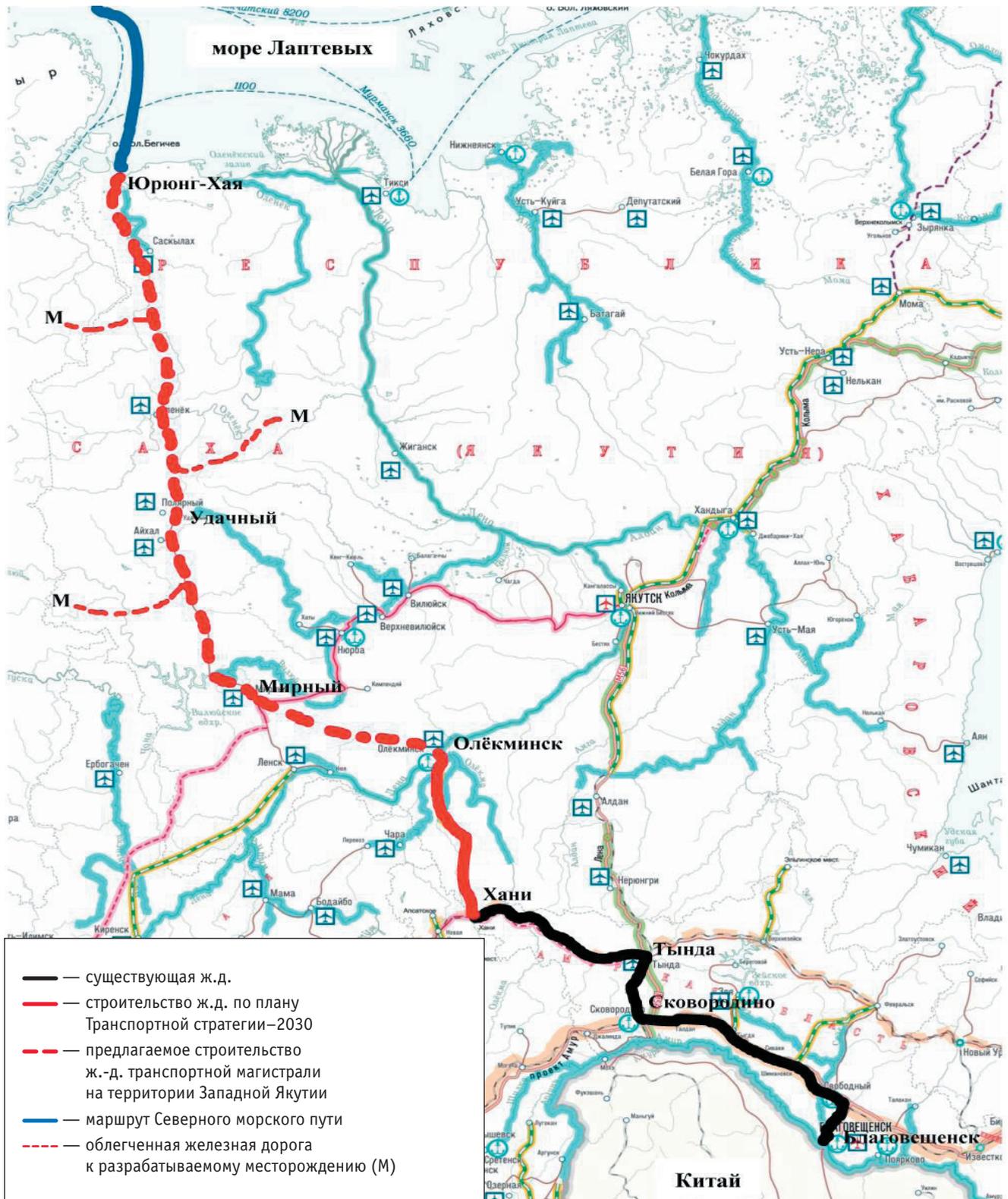


Рис. 2. Схема проектируемого Якутского транспортного коридора*

* На рис. 2 под облегченной железной дорогой понимается специальная конструкция железнодорожного пути для передвижения по нему специализированного подвижного состава. Эта дорога будет иметь уклоны преимущественно больше, чем на основной хребтовой магистрали.

Таблица 2

Предпосылки для создания Якутского транспортного коридора

Факторы, способствующие строительству ЯТК	Дополнительные мероприятия, необходимые для строительства ЯТК
ЯТК как сухопутное продолжение Северного морского пути для Республики Саха (Якутия)	Использование государственно-частного капитала
Наличие пустых пород в отвалах в объеме более 1 млрд м ³ для строительства транспортных магистралей	Возможное участие заинтересованных стран — Китая, Индии, Казахстана и др.
ЯТК может стать частью Евразийского транспортного коридора (после окончания строительства моста через Амур в Благовещенске)	Разработка вариантов формирования мультимодальной транспортно-логистической сети Республики Саха (Якутия)
Строительство железнодорожных магистралей на участках Усть-Кут — Ленск, Икабьекан — Олекминск к 2030 г.	Разработка принципиальных вариантов трассы ЯТК
Строительство стратегической широтной железнодорожной линии Норильск — Верхнеколымск к 2050 г.	Разработка ускоренной технологии строительства ЯТК
Наличие зон опережающего развития с центрами в Ленске, Мирном, Удачном и по береговой линии моря Лаптевых от Юрюнг-Хая до Нижнеянска	Разработка специализированного комплекса по разборке отвалов пустых пород
Инвестиционные проекты Республики Саха (Якутия): строительство мини-ТЭЦ и модульных энергокомплексов в Юрюнг-Хая; освоение Бирюковского, Мухтинского и Западно-Анабарского лицензионного участков; развитие инфраструктуры порта Тикси; строительство автомобильной дороги Анабар; освоение золоторудного месторождения «Кючус»; строительство плавучей атомной станции в Усть-Куйга; строительство линий электропередачи ВЛ-220 кВ в Мирном — Олекминске	Разработка методики применения композиционных материалов для строительства искусственных сооружений в районах Крайнего Севера
Строительство ЯТК возможно осуществлять одновременно в 8–10 населенных пунктах	Разработка специализированных транспортных средств для перемещения по облегченной железной дороге
Разработаны и испытаны автопоезда грузоподъемностью 136 т для перевозки горной массы на большие расстояния. Разработаны специальные технические условия для эксплуатации автопоездов	Разработка специальных технических условий для проектирования транспортных магистралей в условиях многолетнемерзлых грунтов

Все исследованные варианты транспортных коридоров на территории России (их более 40 вариантов) показали необходимость разработки единого специализированного комплекса, который позволит строить дороги и эксплуатировать их.

Возможно, потребуются и создание какого-то нового вида транспорта, наиболее приближенного к работе в условиях низких температур, эксплуатации на слабонесущих грунтах и при значительных расстояниях перевозок. В качестве примера можно рассматривать разработки гусеничных самосвалов, автопоездов и облегченной железной дороги. Конечно, при этом изготовителям и эксплуатирующим организациям следует инициативно менять конструкции узлов транспортных средств и условия эксплуатации.

В дальнейшем на основе использования опыта и технологии строительства Якутского транспортного коридора можно планировать создание Уральского меридионального коридора, проходящего по Западно-Сибирской равнине, и Восточного транспортного коридора, проходящего по территории Восточной Сибири (например, от Якутска по плоскогорью до Певека). Строительство Якутского транспортного коридора может быть значительно ускорено, если до 2030 г. будут построены дороги на участке Хатанга — Северный широтный ход. Это позволит обеспечить поставки стройматериалов для строительства участков Хатанга — Диксон и Хатанга — Анабар.

Литература

1. Тарасов П. И., Журавская М. А., Голубев О. В. Развитие мультимодальных транспортных коридоров на арктических и северных территориях РФ (на примере Республики Саха (Якутия)) // Горная промышленность. 2017. № 2 (132). С. 40–42. ISSN 1609–9192.
2. Степанова Н. А. Особенности развития транспортной инфраструктуры в Республике Саха (Якутия) // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2013. № 47. С. 26–30. ISSN 2073–2872.

References

1. Tarasov P. I., Zhuravskaya M. A., Golubev O. V. Development of a multi-modal transportation corridor in Arctic and Northern Territories of the Russian Federation (Sakha (Yakutia) Republic case study) [Razvitie mul'timodal'nykh transportnykh koridorov na arkticheskikh i severnykh territoriyakh RF (na primere Respubliki Sakha (Yakutiya))] // Mining Industry. 2017. No. 2 (132). Pp. 40–42. ISSN 1609-9192.
2. Stepanova N. A. Peculiarities of development of transport infrastructure in the Sakha (Yakutia) Republic [Osobennosti razvitiya transportnoy infrastruktury v Respublike Sakha (Yakutiya)] // National Interests: Priorities and Security. 2013. No. 47. Pp. 26–30. ISSN 2073-2872.

3. Пустые породы и отходы производства горно-обогатительных комбинатов — основа для строительства транспортных магистралей / М. Л. Хазин, П. И. Тарасов, О. В. Голубев и др. // Известия УГУ. 2017. № 4 (48). С. 90–94. DOI: 10.21440/2307-2091-2017-4-90-94. ISSN 2307–2091.
4. Коноваленко В. Я. Справочник физико-механических свойств горных пород алмазных месторождений Якутии. Новосибирск : СО РАН, 2012. 276 с.
5. Тарасов П. И. Развитие транспортных сетей Республики Саха (Якутия) // Арктика и Север. 2014. № 17. С. 56–67. ISSN 2221–2698.
6. Тарасов П. И. Освоение кимберлитовых месторождений как основа для создания новой техники и технологий, а также строительства коридора в Якутии. Екатеринбург: ООО «ДжиЛайм», 2016. 71 с.
7. Делакхова А. М. Анализ показателей транспортной обеспеченности Республики Саха (Якутия) // Журнал научных и прикладных исследований. 2016. № 5. Ч. 2. С. 54–59. ISSN 2306–9147.
8. Ефремов Э. И. Транспортная инфраструктура Якутии: проблемы и перспективы // Экономический анализ: теория и практика. 2013. № 5 (308). С. 50–56. ISSN 2073–039X.
9. Ивашкин М. В., Мачахова А. К., Сидоренко С. И. Республика Саха (Якутия) как перспективная логистическая платформа Дальнего Востока // Вестник ТОГУ. 2014. № 2 (33). С. 197–204. ISSN 1996–3440.
10. Белый О. В. Комплексные проблемы устойчивого развития транспортного комплекса Арктической зоны Российской Федерации // Арктика: экология и экономика. 2014. № 3 (15). С. 4–8. ISSN 2223–4594.
11. Скрипнюк Д. Ф., Киккас К. Н. Международные транспортные коридоры и Арктика // Современные проблемы управления природными ресурсами и развитием социально-экономических систем : матер. XII междунар. науч. конф. Ч. 1. М., 2016. С. 59–72.
12. Stephenson S. R., Agnew J. A. The work of networks: Embedding firms, transport, and the state in the Russian Arctic oil and gas sector // Environment and Planning A. 2016. Vol. 48. No. 3. Pp. 558–576.
13. Аккерман Г. Л., Аккерман С. Г. Облик транспортной системы регионов Крайнего Севера // Транспорт Урала. 2016. № 3 (50). С. 27–31. DOI: 10.20291/1815-9400-2016-3-27-31. ISSN 1815–9400.
3. Using tailings and waste products of mining and processing plants for the construction of highways [Pustye породы i otkhody proizvodstva gorno-obogatitel'nykh kombinatov — osnova dlya stroitel'stva transportnykh magistraley] / M. L. Khazin, P. I. Tarasov, O. V. Golubev, et al. // News of the Ural State Mining University. 2017. No. 4 (48). Pp. 90–94. DOI: 10.21440/2307-2091-2017-4-90-94. ISSN 2307–2091.
4. Konovalenko V. Ya. Reference book of physical and mechanical properties of rocks in diamond deposits of Yakutia [Spravochnik fiziko-mekhanicheskikh svoystv gornykh porodalmaznykh mestorozhdeniy Yakutii]. Novosibirsk : Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2012. 276 p.
5. Tarasov P. I. Development of transport networks of the Republic Sakha (Yakutia) [Razvitie transportnykh setey Respubliki Sakha (Yakutiya)] // Arctic and North. 2014. No. 17. Pp. 56–67. ISSN 2221–2698.
6. Tarasov P. I. Development of kimberlite deposits as a basis for the creation of new equipment and technologies, as well as the construction of a transport corridor in Yakutia [Osvoenie kimberlitovykh mestorozhdeniy kak osnova dlya sozdaniya novoy tekhniki i tekhnologii, a takzhe stroitel'stva koridora v Yakutii]. Ekaterinburg : «GLyme», 2016. 71 p.
7. Delakhova A. M. Analysis of transport provision indicators of Republic of Sakha (Yakutia) [Analiz pokazateley transportnoy obespechennosti Respubliki Sakha (Yakutiya)] // Journal of scientific and applied research. 2016. No. 5. Part 2. Pp. 54–59. ISSN 2306–9147.
8. Efremov E. I. Transport infrastructure in Yakutia: problems and prospects [Transportnaya infrastruktura Yakutii: problemy i perspektivy] // Economic Analysis: Theory and Practice. 2013. No. 5 (308). Pp. 50–56. ISSN 2073–039X.
9. Ivashkin M. V., Machakhova A. K., Sidorenko S. I. Sakha Republic (Yakutia) as perspective logistic platform of the Russian Far-East [Respublika Sakha (Yakutiya) kak perspektivnaya logisticheskaya platforma Dal'nego Vostoka] // Herald of the Pacific National University. 2014. No. 2 (33). Pp. 197–204. ISSN 1996–3440.
10. Belyi O. V. Integrated problems of sustainable development of the transport complex in the Russian Arctic [Kompleksnye problemy ustoychivogo razvitiya transportnogo kompleksa Arkticheskoy zony Rossiyskoy Federatsii] // Arctic: Ecology and Economy. 2014. No. 3 (15). Pp. 4–8. ISSN 2223–4594.
11. Skripnuk D. Ph., Kikkas K. N. International transport corridors and the Arctic [Mezhdunarodnye transportnye koridory i Arktika] // Modern problems of natural resources management and controlling the social and economic systems development : materials of the XII International scientific conference. Part 1. M., 2016. Pp. 59–72.
12. Stephenson S. R., Agnew J. A. The work of networks: Embedding firms, transport, and the state in the Russian Arctic oil and gas sector // Environment and Planning A. 2016. Vol. 48. No. 3. Pp. 558–576.
13. Akkerman G. L., Akkerman S. G. Transport system layout in the Polar Regions [Oblik transportnoy sistemy regionov Kraynego Severa] // Transport of the Urals. 2016. No. 3 (50). Pp. 27–31. DOI: 10.20291/1815-9400-2016-3-27-31. ISSN 1815–9400.

Объем статьи 0,72 авторских листа

УДК 338.22

Елена Владимировна Тюнюкова, доктор экономических наук, профессор, заведующая кафедрой «Государственное и муниципальное управление» Сибирского государственного университета путей сообщения (СГУПС), Новосибирск, Россия,

Владимир Викторович Буровцев, доктор экономических наук, доцент кафедры «Государственное и муниципальное управление» Сибирского государственного университета путей сообщения (СГУПС), Новосибирск, Россия,

Софья Юрьевна Полунина, кандидат социологических наук, доцент кафедры «Государственное и муниципальное управление» Сибирского государственного университета путей сообщения (СГУПС), Новосибирск, Россия

ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА В СЦЕНАРНЫХ УСЛОВИЯХ ОТРАСЛЕВОГО СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Elena Vladimirovna Tyunyukova, DSc in Economics, Professor, Head of State and Municipal Administration Department, Siberian Transport University (STU), Novosibirsk, Russia,

Vladimir Viktorovich Burovtsev, DSc in Economics, Associate Professor, State and Municipal Administration Department, Siberian Transport University (STU), Novosibirsk, Russia,

Sofya Yuryevna Polunina, PhD in Sociology, Associate Professor, State and Municipal Administration Department, Siberian Transport University (STU), Novosibirsk, Russia

Expert evaluation of innovative development of railway transport in scenario conditions of industry strategic planning and forecasting

Аннотация

Приведены результаты экспертного опроса о реализации целей Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 г. и мероприятий Комплексной программы инновационного развития ОАО «РЖД» на период до 2020 г. Экспертами выступили руководители сферы железнодорожного транспорта и представители вузовской науки. В целом реализация промежуточных целей Стратегии оценена не более чем на 40 %. Среди основных причин невыполнения эксперты отметили недостаточную разработанность нормативно-правовой базы и методов государственного регулирования в сфере железнодорожного транспорта, недостатки инвестиционной и тарифной политики, недостаточное стимулирование достижения параметров и стандартов качества.

Ключевые слова: инновационное развитие экономики, стратегия инновационного развития экономики, экспертный опрос, стратегическое планирование и прогнозирование, сценарные условия отраслевого планирования и прогнозирования.

Summary

The results of expert poll on the implementation of The Strategy for the development of railway transport in the Russian Federation until 2030 (The Transport Strategy — 2030) and the measures of the Comprehensive innovative development programme of the JSC Russian Railways for the period up to 2020 are given. Managers of transport sector and representatives of university science were experts. In general, it is estimated that no more than 40 % of intermediate goals of The Transport Strategy — 2030 are implemented. Disadvantages of regulatory system and methods of state regulation in the sphere of railway transport, deficiencies in investment and tariff policy, lack of incentives to achieve quality parameters and standards have been identified as major reasons of insufficient level of The Transport Strategy — 2030 implementation.

Keywords: economy innovative development, economy innovative development strategy, expert poll, strategic planning and forecasting, scenario conditions of industry planning and forecasting.

DOI: 10.20291/1815-9400-2018-2-15-20

Отрасль железнодорожного транспорта многогранна и реализуется во многих плоскостях — это развитие инфраструктуры, повышение конкурентоспособности, безопасности и доступности услуг железнодорожного транспорта для населения, а также научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, охватывающие все указанные выше направления деятельности [1]. Прогноз долгосрочного (до 2030 г.) социально-экономического развития Российской Федерации рассматривает три сценария в зависимости от степени реализации макроэкономических критериев — консервативный, инновационный и целевой (форсированный) [2]. Различие параметров сценариев развития обусловлено внутренними факторами, различными моделями сбалансированности взаимодействия рыночных и государственных регуляторов. Для объективной характеристики прогнозных условий развития железнодорожного транспорта необходимо обратиться к документу отраслевого планирования — «Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года» (далее — Транспортная стратегия — 2030) [3]. Она разработана с учетом как энергосырьевого (консервативного), так и инновационного (форсированного) сценария. Учитывая прогноз динамики макроэкономических параметров, представленных в документах стратегического развития экономики страны в целом, обобщим сценарные экономические условия деятельности субъектов железнодорожной отрасли (табл. 1).

Таблица 1

Сценарии развития отрасли железнодорожного транспорта

Прогнозируемые макроэкономические параметры	Сценарий		
	Форсированный	Умеренный	Консервативный
Удельная доля издержек на единицу транспортной продукции	Снижение	Незначительное сокращение или стабилизация	Рост
Число участников рынка	Рост	Стабильное	Сокращение
Уровень конкуренции	Рост	Стабильный	Снижение
Механизмы саморегуляции рынка транспортных услуг	Развитие	Стабилизация	Деградация
Потребность в государственном регулировании	Сокращение	Сохранение	Рост

Форсированный сценарий (см. табл. 1) ориентирован на снижение удельной доли издержек, увеличение числа участников и рост конкуренции, развитие механизмов саморегуляции и сокращение потребности в государственном регулировании. Для решения этих задач в Транспортной стратегии — 2030 [3] обозначены основные цели инновационного развития отрасли: повышение инвестиционной привлекательности, развитие инфраструктуры, разработка и внедрение инновационных технологий, снижение ресурсоемких перевозок, воздействия железнодорожного транспорта на окружающую среду, а также научно-технической зависимости от зарубежных источников. ОАО «РЖД» сегодня — это мощная инновационная поддержка осуществляемых процессов и их дальнейшего развития, базирующаяся на продуманной стратегии инновационного развития, определяемой соответствующим документом [4]. В табл. 2 приведены данные, полученные на основе доклада о реализации Транспортной стратегии — 2030 в 2016 г. [5].

Из табл. 2 следует, что по двум целям (цели 1 и 5) в целом по транспортной отрасли достигнуты показатели, опережающие плановые значения. По остальным четырем показателям отмечается невыполнение. Наименьший уровень имеет выполнение цели 4, связанной с интеграцией в мировое транспортное пространство. Это вызвано целым рядом причин, а именно замедлением объемов мировой торговли в целом, ограничениями на перевозку грузов, а также возросшей конкуренцией. Недостижение показателей по цели 3 на 2,6 % объясняется объективными изменениями экономической ситуации, приведшей к снижению спроса как на пассажирские, так и на грузовые перевозки.

Актуализация стратегии развития транспортной отрасли продиктована существенными изменениями в сфере техники и технологий, а также той роли, которую должны играть транспортное образование и вузовская наука. Разработка и реализация любой стратегии представляет собой административную задачу, включающую ряд обязательных шагов, которые позволяют добиться ее результативного завершения в установленные временные сроки. Эти шаги связаны с организационными, кадровыми, финансовыми, корпоративными и иными решениями, грамотная интеграция которых и дает конечный положительный эффект. Не последнее место в этом списке занимает и процесс контроля над осуществлением стратегии. Полагаем, что установление контрольных точек реализации стратегии даст возможность оценивать ее результаты на каждом этапе. Таким образом, возникает необходимость в определении методического подхода, позволяющего минимизировать затраты при проведении подобной оценки.

Для анализа реализации программы инновационного развития ОАО «РЖД» был выбран метод экспертных оценок. Он низкозатратный и позволяет получить достаточно точный результат при соблюдении определенных требований к экспертам и используемой анкете. Полученный в ходе такого опроса независимый усредненный прогноз является вполне адекватным. Так как руководящее звено ОАО «РЖД» обладает высоким уровнем компетентности о многих смежных сторонах деятельности, метод экспертных оценок позволит получить удовлетворительные результаты. Для повышения точности этого метода к опросу могут быть привлечены представители транспортных вузов.

Таблица 2

Результаты анализа реализации Транспортной стратегии — 2030 в 2016 г. [5]

Цель	Уровень реализации, %
Цель 1. Формирование единого транспортного пространства России на базе сбалансированного развития эффективной транспортной инфраструктуры	109,6
Цель 2. Обеспечение доступности, объема и конкурентоспособных транспортных услуг по критериям качества для грузовладельцев на уровне потребностей инновационного развития экономики страны	99,3
Цель 3. Обеспечение доступности и качества транспортных услуг для населения в соответствии с социальными стандартами	97,4
Цель 4. Интеграция в мировое транспортное пространство и реализация транзитного потенциала страны	70,9
Цель 5. Повышение уровня безопасности транспортной системы	148
Цель 6. Понижение вредного воздействия транспорта на окружающую среду	95,5

Традиционно число экспертов определяется по формулам математической статистики и составляет не менее 100 человек, однако российские ученые допускают «прагматический» подход к данному вопросу. В этом случае число экспертов определяется в зависимости от числа оцениваемых событий [6]. Аргументом, доказывающим возможность сокращения числа экспертов, является то, что при большой группе экспертов оценка каждого из них не оказывает существенного влияния на итоговую оценку. Кроме того, при формировании таких объемных выборок в них могут попасть специалисты, не имеющие требуемой квалификации, что, безусловно, снижает достоверность результатов.

Границы численности группы экспертов определяются по формуле

$$m \leq N_{\min} \leq N \leq N_{\max} \leq N_n \quad (1)$$

где m — число оцениваемых событий;

N_{\min} и N_{\max} — минимальное и максимальное число экспертов;

N — действительное число экспертов;

N_n — потенциально возможное число экспертов.

Результативность опроса повышается при отсутствии открытых вопросов, поэтому все вопросы носят конкретный характер и построены на основе анализа Транспортной стратегии — 2030 [3] и Комплексной программы инновационного развития ОАО «Российские железные дороги» на период до 2020 года (далее — Комплексная программа — 2020) [4]. Вопросы сгруппированы в четыре блока: первый отражает ключевые цели Транспортной стратегии — 2030; второй ориентирован на оценку мероприятий, сопровождающих инновационное развитие железнодорожного транспорта; третий направлен на определение необходимости корректировки Транспортной стратегии — 2030 в сфере железнодорожного транспорта; четвертый носит прогнозный характер и предполагает получение ответов на вопросы, связанные с причинами невыполнения отдельных пунктов Транспортной стратегии — 2030.

Оценка уровня выполнения целей Транспортной стратегии — 2030 и инновационных мероприятий Комплексной программы — 2020 проводилась экспертами по следующей шкале: 0 % — невыполнение меры; 25 % — выполнение в незначительной мере; 50 % — выполнение примерно наполовину; 75 % — выполнение в основном; 100 % — полная реализация меры. Ответ «затрудняюсь ответить» свидетельствует об отсутствии у эксперта информации о выполнении соответствующей цели и мероприятия. Анализ оценок экспертов проведен по среднему уровню выполнения целей и мероприятий, а также по удельному весу каждой из оценок. Наиболее объемным с точки зрения подбора экспертов является второй блок, включающий в себя 17 оцениваемых направлений инновационного развития. Поэтому число экспертов, согласно формуле (1), составляет 12 человек. Из них 30 % имеют стаж работы в отрасли до 20 лет, 60 % — от 21 года до 40 лет, 10 % — более 40 лет. Среди экспертов 30 % имеют ученую степень доктора, 10 % — кандидата наук. Из общего числа половина работает в сфере высшего образования.

В процессе анкетирования получено 17 анкет специалистов. Ими было выставлено 595 оценок. На рис. 1 представлено общее распределение оценок респондентов по реализации всех целей Транспортной стратегии — 2030.

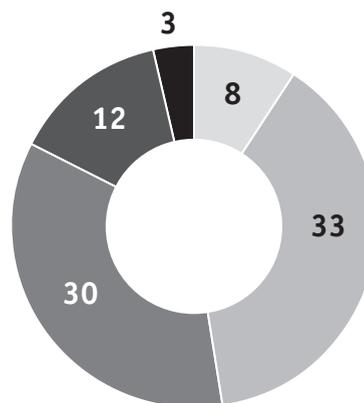


Рис. 1. Распределение оценок респондентов о реализации всех целей Транспортной стратегии — 2030, %:

□ (0 %) — невыполнение; ■ (25 %) — выполнение в незначительной мере; ■ (50 %) — выполнение примерно наполовину; ■ (75 %) — выполнение в основном; ■ (100 %) — полная реализация

Как видно из рис. 1, 33 % респондентов отдали предпочтение оценке «выполнение целей в незначительной мере», 30 % отметили, что цели выполнены наполовину. В среднем уровень реализации всех целей составил 39 %. То есть, если опираться на среднюю оценку по всем целям, можно отметить, что Транспортная стратегия — 2030 выполнена менее чем наполовину. В табл. 3 приведены оценки выполнения каждой цели стратегии.

Таблица 3

Оценка реализации целей Транспортной стратегии — 2030 экспертами, %

Цель	Оценка эксперта
Цель 1. Формирование единого транспортного пространства России на базе сбалансированного развития эффективной транспортной инфраструктуры	23
Цель 2. Обеспечение доступности, объема и конкурентоспособных транспортных услуг по критериям качества для грузовладельцев на уровне потребностей инновационного развития экономики страны	40
Цель 3. Обеспечение доступности и качества транспортных услуг для населения в соответствии с социальными стандартами	40
Цель 4. Интеграция в мировое транспортное пространство и реализация транзитного потенциала страны	33
Цель 5. Повышение уровня безопасности транспортной системы	58
Цель 6. Понижение вредного воздействия транспорта на окружающую среду	40

Как видно из табл. 3, из шести целей четыре (цели 2, 3, 4, 6) выполнены более чем на 25 %, но менее чем наполовину. Цель 5 «Повышение уровня безопасности транспортной системы» реализована более чем на 50 %. Наименьший уровень реализации, по мнению экспертов, характерен для цели 1 «Формирование единого транспортного пространства России...» (23 %).

Распределение оценок респондентов о выполнении целей стратегии приведено в табл. 4. Поскольку ответы «0 %» и «100 %» встречались редко, при анализе они просуммированы (столбцы «до 25 %» и «75 % и выше» в табл. 4).

Как показывают данные табл. 4, наполовину выполненными эксперты считают цель 5 «Повышение уровня безопасности транспортной системы» (50 % экспертов) и цель 6 «Понижение вредного воздействия транспорта на окружающую среду» (60 % экспертов). Цель 2 выполнена на 75 % и выше (70 % экспертов отдадут предпочтение этой оценке). Выполненными в незначительной мере считаются цель 1 «Формирование единого транспортного пространства России...» (90 % экспер-

тов) и цель 4 «Интеграция в мировое транспортное пространство...» (70 % экспертов).

По результатам опроса о необходимости корректировки целей в целом высказались 82 % экспертов. В табл. 5 приведено распределение мнения экспертов о необходимости корректировки каждой из целей Транспортной стратегии — 2030.

Как видно из табл. 5, эксперты единогласно высказались о необходимости корректировки цели 1 «Формирование единого транспортного пространства...» и цели 4 «Интеграция в мировое транспортное пространство...», реализация которых оценена как незначительная (см. табл. 4). Несмотря на высокую степень реализации цели 2 «Обеспечение доступности, объема и конкурентоспособных транспортных услуг...», 80 % экспертов также высказались за необходимость ее корректировки. По 70 % экспертов отметили необходимость переформулирования целей и изменения критериев их достижения по остальным трем целям. Это касается как цели 3, выполнение которой экспертами оценено на уровне до 25 %, так и целей 5 и 6, показатели по которым достигают 50 % (см. табл. 4).

Таблица 4

Распределение оценок респондентов о выполнении каждой цели Транспортной стратегии — 2030, %

Цель	Оценка эксперта		
	Степень выполнения целей, %		
	до 25	50	75 и выше
Цель 1. Формирование единого транспортного пространства России на базе сбалансированного развития эффективной транспортной инфраструктуры	90	10	–
Цель 2. Обеспечение доступности, объема и конкурентоспособных транспортных услуг по критериям качества для грузовладельцев на уровне потребностей инновационного развития экономики страны	–	20	70
Цель 3. Обеспечение доступности и качества транспортных услуг для населения в соответствии с социальными стандартами	60	10	30
Цель 4. Интеграция в мировое транспортное пространство и реализация транзитного потенциала страны	70	30	10
Цель 5. Повышение уровня безопасности транспортной системы	10	50	40
Цель 6. Понижение вредного воздействия транспорта на окружающую среду	10	60	10

Таблица 5

Распределение ответов респондентов на вопрос о необходимости корректировки целей Транспортной стратегии — 2030, %

Цель	Необходимость корректировки целей	
	Да	Нет
Цель 1. Формирование единого транспортного пространства России на базе сбалансированного развития эффективной транспортной инфраструктуры	100	0
Цель 2. Обеспечение доступности, объема и конкурентоспособных транспортных услуг по критериям качества для грузовладельцев на уровне потребностей инновационного развития экономики страны	80	20
Цель 3. Обеспечение доступности и качества транспортных услуг для населения в соответствии с социальными стандартами	70	30
Цель 4. Интеграция в мировое транспортное пространство и реализация транзитного потенциала страны	100	0
Цель 5. Повышение уровня безопасности транспортной системы	70	0
Цель 6. Понижение вредного воздействия транспорта на окружающую среду	70	0

На рис. 2 представлено общее распределение оценок респондентов по реализации всех инновационных мероприятий Комплексной программы — 2020.

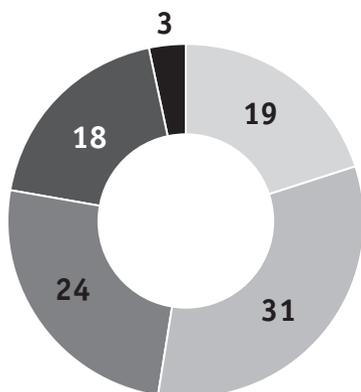


Рис. 2. Распределение оценок респондентов о реализации всех мероприятий Комплексной программы — 2020, %:

□ (0 %) — невыполнение целей; ■ (25 %) — выполнение в незначительной мере; ■ (50 %) — выполнение примерно наполовину; ■ (75 %) — выполнение в основном; ■ (100 %) — полная реализация

Как показал опрос, эксперты более чем сдержанно оценивают уровень реализации инновационных мероприятий, учитывая, что программа рассчитана до 2020 г., т.е. до ее завершения остается менее двух лет. Общая оценка уровня реализации мероприятий составляет 36 %, т.е. менее чем наполовину. Как видно из рис. 2, 31 % респондентов оценил уровень достижения целей на 25 %. 19 % отметили, что некоторые мероприятия находятся на нулевом уровне. Почти четверть мероприятий (отметили 24 % экспертов) выполнены наполовину. 18 % экспертов отметили, что инновационные мероприятия выполнены в основном, 3 % указали на полную реализацию мероприятий. Рассмотрим подробнее уровень реализации каждого из 17 мероприятий Комплексной программы — 2020 (табл. 6).

Анализ табл. 6 показывает, что три мероприятия из 17 получили оценку экспертов «выполнено более чем наполовину». Это мероприятия, связанные со снижением выбросов в атмосферу (уровень реализации составляет 58 %), сбросом сточных вод (53 %), а также внедрением бережливого производства (50 %). Большая часть мероприятий (11 из 17) имеют уровень реализации от 25 до 50 %. При этом к 50 %-му уровню достижения целевых показателей приближаются мероприятия по развитию, мониторингу и обслуживанию инфраструктуры и подвижного состава и по оптимизации управления перевозочным процессом на основе экономических критериев (по 48 %). Внедрение новых корпоративных систем управления персоналом находится на отметке 45 %.

Наименьшей степенью реализации в этой группе мероприятий характеризуются три проекта (оценка экспертов 25 %): переход к целевой организационной модели, внедрение инновационной продукции и технологий в сфере железнодорожного транспорта, формирование венчурных фондов. Таким образом, большая часть мероприятий этой группы пока не при-

вела к существенным результатам, намеченным Комплексной программой — 2020.

В группу мероприятий, реализация которых граничит с полным невыполнением (менее чем на 25 %), входят три из 17. Это комплексные проекты подготовки инфраструктуры для организации скоростного движения (уровень выполнения 23 %), проект «Умный вокзал» (20 %) и меры по активизации НИОКР на прорывных направлениях (20 %).

Таблица 6

Распределение оценок респондентов о выполнении каждого мероприятия Комплексной программы — 2020

Инновационные мероприятия	Уровень выполнения, %
<i>Мероприятия, выполненные на 50 % и более</i>	
Снижение выбросов вредных веществ в атмосферу	58
Снижение сброса загрязненных сточных вод	53
Внедрение технологий бережливого производства	50
<i>Мероприятия, выполненные на уровне от 25 до 50 %</i>	
Развитие, мониторинг и обслуживание инфраструктуры и подвижного состава	48
Комплексный научно-технический проект «Оптимизация управления перевозочным процессом на основе экономических критериев»	48
Новые корпоративные системы управления персоналом	45
Внедрение единой системы управления инвестиционными проектами	40
Усиление защиты интеллектуальной собственности российских разработчиков	40
Снижение выброса парниковых газов	35
Внедрение инновационных материалов, конструкций, технических систем	33
Стимулирование создания и внедрения инновационной продукции и технологий	33
Переход к целевой организационной модели	25
Внедрение инновационной продукции и технологий в сфере железнодорожного транспорта	25
Формирование венчурных фондов	25
<i>Мероприятия, выполненные менее чем на 25 %</i>	
Комплексные проекты подготовки инфраструктуры для организации скоростного движения	23
Проект «Умный вокзал»	20
Активизация НИОКР на прорывных направлениях	20

В табл. 7 представлено распределение ответов респондентов на вопрос о причинах невыполнения целей Транспортной стратегии — 2030 и Комплексной программы — 2020.

Таблица 7

Распределение ответов респондентов о причинах невыполнения мер Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 г. в сфере железнодорожного транспорта и Комплексной программы инновационного развития ОАО «РЖД» на период 2016–2020 гг., %

Причина невыполнения	Доля ответов респондентов
Недостаточно разработана нормативно-правовая база и методы государственного регулирования	100
Недостатки инвестиционной политики	90
Недостатки тарифной политики	80
Недостаточное стимулирование достижения параметров и стандартов качества	30
Недостаточно четко определены параметры и стандарты качества	10

Все опрошенные эксперты отметили недостаточную разработанность нормативно-правовой базы и методов государственного регулирования в сфере железнодорожного транспорта, 90 % и 80 % респондентов назвали причиной невыполнения мероприятий недостатки соответственно инвестиционной и тарифной политики. Треть экспертов указали на недостаточное стимулирование достижения параметров и стандартов качества. И только 10 % связали проблемы реализации с недостаточно четко определенными параметрами и стандартами качества.

Таким образом, несмотря на имеющийся запас времени для реализации поставленных целей, следует пересмотреть как Транспортную стратегию — 2030, так и программы, которые строятся на ее основе. Для этого прежде всего необходимо более глубокое исследование причин невыполнения: административных, связанных с противодействием различных интересов, разногласием в экспертном сообществе, развитием механизмов рыночного саморегулирования. Кроме того, следует изучить и учесть мнение и предложения как специалистов, так и представителей научного сообщества.

Литература

1. ОАО «РЖД» сегодня [Электронный ресурс]. URL: http://www.rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=628 (дата обращения: 01.04.2018).
2. Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года [Электронный ресурс]. URL: <http://www.economy.gov.ru> (дата обращения: 15.04.2018).
3. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года : утв. распоряжением Правительства Рос. Федерации от 17.06.2008 г. № 877-р // Собрание законодательства Российской Федерации. 21.07.2008. № 29. Ч. II. Ст. 3537.
4. Комплексная программа инновационного развития ОАО «Российские железные дороги» на период до 2020 года [Электронный ресурс]. URL: <http://doc.rzd.ru/doc/> (дата обращения: 15.03.2018).
5. О реализации Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года. Отчетный период: 2016 год [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mintrans.ru/search?value=Отчет+за+2017+год+о+реализации+Транспортной+стратегии+Российской+Федерации+на+период+до+2030+года> (дата обращения: 23.04.2018).
6. Голубков Е. П. Маркетинговые исследования: теория, методология и практика. М. : Финпресс, 2008. 496 с.

References

1. JSC Russian Railways today [OAO «RZhD» segodnya]. [Electronic resource]. URL: http://www.rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=628 (access date: 01.04.2018).
2. Forecast of the long-term social and economic development of the Russian Federation up to 2030 [Prognoz dolgosrochnogo sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda]. [Electronic resource]. URL: <http://www.economy.gov.ru> (access date: 15.04.2018).
3. Strategy for the development of railway transport in the Russian Federation until 2030 [Strategiya razvitiya zheleznodorozhnogo transporta v Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda] : approved by the Order of the Government of the Russian Federation of 17.06.2008 No. 877-r // Collection of Legislative Acts of the Russian Federation. 21.07.2008. No. 29. Part. II. Paper 3537.
4. Comprehensive innovative development programme of the JSC Russian Railways for the period up to 2020 [Kompleksnaya programma innovatsionnogo razvitiya OAO «Rossiyskie zheleznye dorogi» na period do 2020 goda]. [Electronic resource]. URL: <http://doc.rzd.ru/doc/> (access date: 15.03.2018).
5. About the implementation of the Strategy for the development of railway transport in the Russian Federation until 2030. Reference period: 2016 [O realizatsii Transportnoy strategii Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda. Otchetnyy period: 2016 god]. [Electronic resource]. URL: <https://www.mintrans.ru/search?value=Отчет+за+2017+год+о+реализации+Транспортной+стратегии+Российской+Федерации+на+период+до+2030+года> (access date: 23.04.2018).
6. Golubkov E. P. Marketing research: theory, methodology and practice [Marketingovye issledovaniya: teoriya, metodologiya i praktika]. M. : Finpress, 2008. 496 p.

Объем статьи 0,67 авторских листа

УДК 656.222.2:656.222.6

Вадим Юрьевич Пермикин, кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, Россия,

Эдуард Викторович Васильев, выпускник Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, Россия,

Василий Викторович Наричин, старший дорожный диспетчер оперативно-распорядительного отдела Диспетчерского центра управления перевозками Свердловской дирекции управления движением, Екатеринбург, Россия

ПОЛИГОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ТЯГОВЫМИ РЕСУРСАМИ В УСЛОВИЯХ СОВМЕСТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОДНОСИСТЕМНЫХ И ДВУХСИСТЕМНЫХ ГРУЗОВЫХ ЭЛЕКТРОВЗОВ

Vadim Yuriyevich Permikin, PhD in Engineering, Associate Professor, Operations Management Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg, Russia,

Eduard Viktorovich Vasilyev, graduate, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg, Russia,

Vasily Viktorovich Naritsin, Senior Road Dispatcher, Operational and Administrative Division, Operating Control Centre, Sverdlovsk Directorate of Traffic Control, Ekaterinburg, Russia

Range technologies of traction resources management in the conditions of joint operation of single-system and two-system freight electric locomotives

Аннотация

Создание двухсистемного грузового электровоза серии 2ЭВ120 «Князь Владимир» открывает новые перспективы для развития полигонных технологий управления эксплуатационной работой на железных дорогах. В статье дана оценка важнейших грузонапряженных полигонов, отвечающих критериям использования и максимальной реализации тяговых характеристик новых локомотивов, что позволит эффективно интегрировать электровозы 2ЭВ120 в постоянную эксплуатацию на сети ОАО «РЖД», а также выявлены преимущества и недостатки каждого из рассматриваемых полигонов.

Ключевые слова: полигонные технологии, двухсистемные электровозы, полигон тяжеловесного движения, плечи работы локомотивов и локомотивных бригад, тяговые ресурсы.

Summary

Creation of a two-system freight electric locomotive series 2EV120 «Prince Vladimir» opens up new prospects for the development of range technologies for controlling the operation on the railways. The paper assesses the most important heavy-traffic ranges that meet the criteria for the use and maximum realization of traction characteristics of new locomotives, which will allow to effectively integrate the electric locomotive 2EV120 in continuous operation on the network of the JSC Russian Railways. Moreover, the advantages and disadvantages of each of the ranges under consideration are revealed.

Keywords: range technologies, two-system electric locomotives, heavy-load traffic range, hauls of locomotives and engine crews, traction resources.

DOI: 10.20291/1815-9400-2018-2-21-27

ВВЕДЕНИЕ

Компания «РЖД» развивает инновационные технологии перевозочной работы, направленные на повышение эффективности своей деятельности, увеличение скорости доставки грузов и создание новых транспортных продуктов. Современный уровень информационного обеспечения перевозок, появление парка новейших локомотивов и вагонов создали предпосылки для перехода от региональных принципов управления эксплуатационной работой к полигонным. Основу полигонных технологий составляют железнодорожные направления, объединенные едиными унифицированными весовыми нормами, стандартами длин приемо-отправочных путей, тягового электроснабжения, системой управления локомотивными и вагонными парками. При формировании границ полигона важнейшая роль принадлежит тягово-техническим характеристикам парка магистральных локомотивов, определяющим условия эксплуатационной работы входящих в полигон направлений.

Последние достижения транспортного машиностроения открывают технологические решения для организации движения вагонопотоков за счет развития инновационных принципов управления тяговыми ресурсами на укрупненных полигонах. В 2017 г. после завершения испытаний и получения сертификата соответствия требованиям технического регламента Таможенного союза «О безопасности железнодорожного подвижного состава» [1] началась подконтрольная эксплуатация

двухсистемного грузового электровоза 5-го поколения серии 2ЭВ120 «Князь Владимир», созданного на Энгельсском локомотивном заводе — совместном предприятии ООО «Первая Локомотивная Компания» и Bombardier, на плече Тихорецкая — Белореченская — Туапсе Северо-Кавказской железной дороги.

Идеальными для постоянной эксплуатации (период эксплуатации в штатных условиях ОАО «РЖД» после окончания подконтрольной эксплуатации) инновационных электровозов считаются протяженные широтные грузонапряженные полностью двухпутные направления, испытывающие систематические трудности в организации пропуска поездопотока.

Максимально эффективно использование конкурентных преимуществ двухсистемного асинхронного локомотива 2ЭВ120 будет на полигонах постоянной эксплуатации, электрифицированных как постоянным, так и однофазным переменным током и характеризующимся:

высокой грузонапряженностью (размерами пропускаемого поездопотока, соответствующими параметрам интенсивного и особо интенсивного движения) [2];

регулярными проблемами в организации поездной работы (проведение ремонтно-путевых работ, отказы технических средств, неудовлетворительная работа сервисных локомотивных депо, сортировочных и участковых станций, некачественное закрытие наряда локомотивных бригад и т. д.), последствия которых могут быть снижены или устранены благодаря эксплуатационным преимуществам двухсистемных локомотивов;

ограничением пропускной и провозной способности полигона в целом или на отдельных участках, устранение которых возможно только за счет реализации инвестиционной программы развития и реконструкции инфраструктуры либо за счет альтернативной замены парка односистемных локомотивов двухсистемными;

наличием одной или более загруженных станций стыкования постоянного и переменного тока, сдерживающих продвижение вагонопотоков из-за перекосов в обеспечении поездов тягой постоянного и переменного тока, в том числе из-за непарности движения в четном и нечетном направлении;

наличием условий для организации работы парка двухсистемных электровозов на больших по протяженности плечах (не менее 1000 км в одну сторону), чтобы не допустить частых отцепок от поездов на коротком расстоянии, за исключением технологических;

наличием действующих коротких плеч работы локомотивов и локомотивных бригад, в том числе ограниченных станциями стыкования систем тягового электроснабжения, протяженность которых может быть увеличена только при регулярной эксплуатации двухсистемных локомотивов;

наличием инфраструктурной возможности регулярного обращения поездов повышенной массы и длины, вождение которых электровозами 2ЭВ120 приведет к дальнейшему увеличению массы грузового поезда, пропускной способности полигона и технических станций, а в конечном счете — к повышению качества обслуживания клиентов;

интенсивным движением ускоренных поездов, для которых принципиально важно проследовать стыковые станции без стоянки, чтобы повысить маршрутную скорость движения

в конкурентной борьбе с трансконтинентальными морскими перевозчиками за рынок контейнерных перевозок;

высоким физическим и моральным износом эксплуатируемых локомотивов, требующим их плановой замены более новыми электровозами, в том числе двухсистемными [3];

низкими тяговыми характеристиками парка действующих коллекторных электровозов, особенно при вождении тяжеловесных поездов на лимитирующих подъемах, что требует использования подталкивающих локомотивов (либо снижения массы поезда на всем направлении или на отдельных участках), от которых можно было бы отказаться при эксплуатации более мощных асинхронных электровозов.

Чтобы оценить перспективы постоянной эксплуатации двухсистемных электровозов 2ЭВ120, рассмотрены следующие направления:

полигон подконтрольной эксплуатации Тихорецкая — Туапсе; полигон тяжеловесного движения Кузбасс — Дальний Восток; полигон тяжеловесного движения Кузбасс — Юг; полигон тяжеловесного движения Кузбасс — Северо-Запад; полигон тяжеловесного движения Кузбасс — Центр.

ОЦЕНКА ПЛЕЧА ПОДКОНТРОЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛОКОМОТИВА 2ЭВ120 ТИХОРЕЦКАЯ – ТУАПСЕ ДЛЯ ПОСТОЯННОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Направление Тихорецкая — Туапсе отвечает требованиям подконтрольной эксплуатации двухсистемных электровозов, поскольку включает в себя участки железной дороги, электрифицированные как постоянным, так и однофазным переменным током. В маршрут входит участковая станция стыкования смежных участков Белореченская. Следование ряда грузовых поездов через эту станцию без смены локомотива увеличивает ее пропускную способность, позволяя принять на освободившийся приемо-отправочный путь дополнительный поезд.

Основной поездопоток полигона подконтрольной эксплуатации включает в себя составы из преимущественно груженых вагонов с экспортными грузами для перевалки в морском торговом порту Туапсе, выгрузки в Туапсинском филиале ПАО НК «Роснефть», а также транзитный вагонопоток на Сочи и в Республику Абхазия. В обратном направлении следуют поезда, сформированные из порожних вагонов после выгрузки массовых грузов.

Однако для постоянной эксплуатации двухсистемных электровозов направление Тихорецкая — Туапсе имеет ряд существенных недостатков.

Участок постоянного тока Белореченская — Туапсе пересекает склоны Главного Кавказского хребта. Профиль пути этого направления горно-перевальный и не позволяет осуществлять обращение поездов повышенной массы и длины при тяговом обслуживании действующими односистемными коллекторными локомотивами серии 2ЭС4к, ЗЭС4к (ранее — ВЛ8, ВЛ10).

Особенность этого полигона подконтрольной эксплуатации — большая протяженность (211 км) его однопутной составляющей — участка Армавир-Туапсинский — Белореченская — Кривенковская, что составляет 59 % от общей протяженности направления.

Тяговые характеристики двухсистемного электровоза 2ЭВ120 позволяют увеличить массу и длину состава. Эти показатели, особенно на однопутном участке, зависят от уровня развития станционной инфраструктуры, в том числе от полезной длины приемо-отправочных путей для возможности выполнения технологических операций по скрещению и обгону поездов. Однако полезная длина приемо-отправочных путей не только промежуточных, но и технических станций, например Тихорецкой, Белореченской, Туапсе, не соответствует требованиям длинносоставного и тяжеловесного движения. Сводным графиком движения предусмотрена унифицированная норма длины состава — 57 условных вагонов, что соответствует массе брутто состава в 5000 т.

Кроме того, обращение на участке осложняется интенсивным движением пассажирских поездов, связывающих крупнейшие города России с курортным Адлером, особенно в пик летних перевозок. Увеличение массы и длины грузовых поездов ухудшит условия выполнения скрещений со встречными длинносоставными поездами, увеличит станционные интервалы и может создать риск нарушения безопасности движения. В данной ситуации, чтобы обеспечить следование тяжеловесных поездов, потребуется выделить специальные безобгонные нитки графика и исключить назначение встречных длинносоставных поездов для беспрепятственного скрещения на станциях с короткой длиной приемо-отправочных путей. В случае скрещений на таких станциях тяжеловесного длинносоставного поезда с пассажирскими поездами последние будут следовать со стоянкой, что может снизить их маршрутную скорость и увеличить время в пути.

Еще один недостаток направления Тихорецкая — Туапсе для постоянной эксплуатации — короткая протяженность (363 км) плеча работы электровоза 2ЭВ120. При частых отцепках большую часть времени электровоз будет находиться на станциях оборота, что приведет к снижению его производительности. При тяговом обслуживании транзитных поездов, сформированных не на станции Тихорецкая (Батайск, им. Максима Горького и др.) или следующих из Туапсе без переработки на станции Тихорецкой, здесь будет предусмотрен технологический размен локомотивов, что не улучшит условия эксплуатационной работы полигона (перенос смены локомотивов из Белореченской в Тихорецкую).

Структуру парка электровозов постоянного тока на участке Туапсе — Белореченская составляют новые коллекторные (выпуска 2010 г. и новее) локомотивы серии 2ЭС4к, 3ЭС4к, приписанные к депо Туапсе. На участке переменного тока Белореченская — Кавказская — Тихорецкая тяговое обслуживание осуществляется электровозами ВЛ80. Потребность в замене электровозов актуальна только для парка переменного тока.

Таким образом, направление Тихорецкая — Туапсе из-за ограничений инфраструктурного характера, короткого плеча работы и недостаточно высокого грузопотока в сравнении с широтными двухпутными ходами не может считаться абсолютно идеальным для постоянной эксплуатации двухсистемного электровоза 2ЭВ120.

В перспективе для организации беспрепятственного движения поездов целесообразно рассмотреть поэтапный перевод участка постоянного тока Белореченская (Горячий Ключ) — Туапсе — Адлер — Веселое на переменный ток и последующее его объединение с обширным южным полигоном сети, электрифицированным переменным током (по опыту перевода участка Минеральные Воды — Кисловодск Северо-Кавказской железной дороги). Реализация указанных мероприятий позволит исключить из списка стыковых станции Белореченская и Горячий Ключ.

ВЫБОР ШИРОТНОГО ТЯЖЕЛОВЕСНОГО ПОЛИГОНА ДЛЯ ПОСТОЯННОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОВЗОВ 2ЭВ120

Процесс поездобразования на сети железных дорог характеризуется географической неравномерностью, зависит от уровня экономического развития предприятий-грузоотправителей, а также конъюнктуры и массовости предъявляемых к перевозке грузов. Стратегически важным районом зарождения поездопотоков является Кузбасский регион Западно-Сибирской железной дороги.

В 2017 г. ежедневно шахтами и разрезами Кузбасского угольного бассейна грузилось около 10000 вагонов, что составляет порядка 20 % общесетевой погрузки. 7 декабря 2017 г. был обновлен рекорд суточной погрузки: потребителям отправлено 12845 вагонов (со ст. Ерунаково — 1826, ст. Терентьевская — 1154, ст. Мереть — 998, ст. Междуреченск — 620, ст. Белово — 448 и т.д.) [4]. Дальнейший рост мировых цен на каменный уголь будет способствовать вводу новых добывающих мощностей (в 2017 г. он составил около 18 млн т, а в 2018 г. может превысить 30 млн т [5]) и, следовательно, увеличению объемов перевозок.

Уголь и кокс Кузбасса отправляют как на запад, так и на восток (в основном на экспорт) — в адрес морских портов и сухопутных пограничных переходов (рис. 1).

Поэтому наиболее перспективным для постоянной эксплуатации двухсистемных электровозов 2ЭВ120 представляется один из полигонов тяжеловесного движения, начинающийся в Кузбассе.

ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ДВУХСИСТЕМНЫХ ЭЛЕКТРОВЗОВ НА ПОЛИГОНЕ КУЗБАСС – ДАЛЬНИЙ ВОСТОК

С каждым годом грузооборот полигона тяжеловесного движения Кузбасс — Дальний Восток демонстрирует рост. В первую очередь это связано с геополитическими причинами и разворотом российского сырьевого экспорта из Европы в Азию. Правительство Российской Федерации, понимая значимость этого направления, вкладывает значительные инвестиционные ресурсы в развитие БАМа и Транссиба. Полигон начинается на стыковых станциях систем постоянного и переменного тока, административно соединяющих Западно-Сибирскую и Красноярскую железные дороги, — Мариинск и Междуреченск. Незначительные по протяженности участки постоянного тока соединяют углепогрузочные станции Кузбасса и стыковые станции.

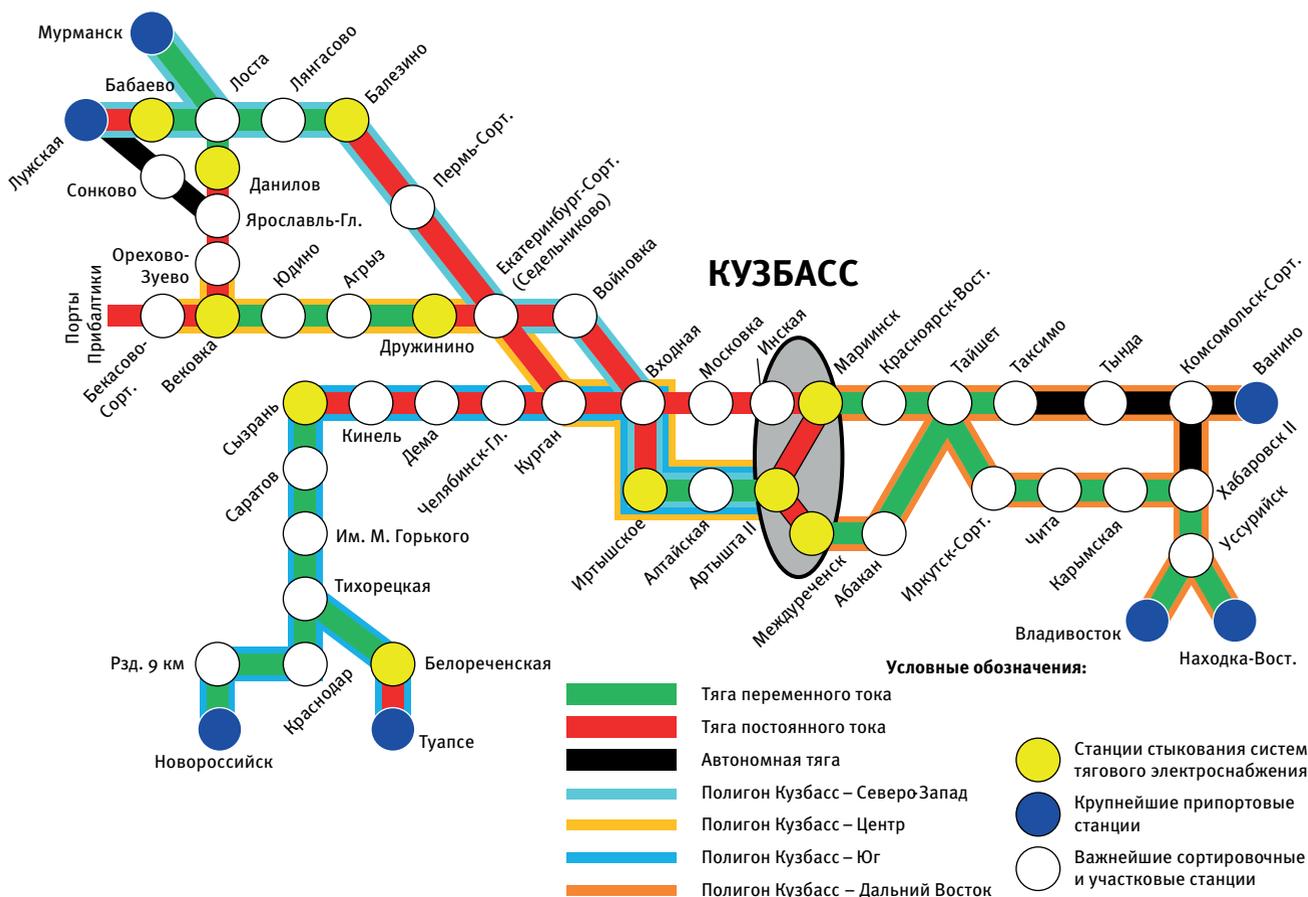


Рис. 1. Укрупненная схема сетевых тяжеловесных полигонов для перевозки кузбасского угля к важнейшим морским портам

Эксплуатация двухсистемных электровозов 2ЭВ120 на полигоне нецелесообразна, поскольку на всем своем протяжении он электрифицирован только однофазным переменным током. Кроме того, основные эксплуатационные локомотивные депо полигона в последние годы значительно обновили приписной парк тягового подвижного состава. На смену электровозам ВЛ80 пришли локомотивы 2ЭС5к, 3ЭС5к и 4ЭС5к, позволяющие водить тяжеловесные поезда массой брутто до 7100 т по сквозной полигонной технологии.

АНАЛИЗ ИНФРАСТРУКТУРНОГО РАЗВИТИЯ ПОЛИГОНА КУЗБАСС – ЮГ ДЛЯ ПОСТОЯННОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДВУХСИСТЕМНЫХ ЭЛЕКТРОВЗОВ

Полигон тяжеловесного движения от Кузбасса к незамерзающим портам Азово-Черноморского бассейна — один из самых грузонапряженных на сети дорог. После ввода в эксплуатацию Крымского моста прогнозируется дальнейший рост грузооборота. Здесь расположен и крупнейший морской торговый порт страны — Новороссийск.

Полигон электрифицирован как переменным: Артышта-2 — Алтайская — Иртышское — Сызрань — Саратов — им. М. Горького — Тихорецкая — порты Азово-Черноморского бассейна, так и постоянным током: Иртышское — Челябинск — Дема —

Кинель — Сызрань и Белореченская (Горячий Ключ) — Туапсе. Смежные участки соединяют 4 станции стыкования — Иртышское, Сызрань-1, Белореченская и Горячий Ключ. Протяженность плеч работы локомотивов и локомотивных бригад наличием станций стыкования (в первую очередь, Сызрань-1) практически не ограничена, за исключением плеч Туапсе — Горячий Ключ и Туапсе — Белореченская. На полигоне могут быть в полной мере реализованы тяговые возможности электровоза 2ЭВ120 для повышения массы поезда, особенно на участках с тяжелым профилем Южно-Уральской и Приволжской железных дорог, где тяжеловесные поезда ведут объединенные по системе многих единиц электровозы ВЛ10у и 2ЭС6 либо силу тяги увеличивают за счет подталкивания. Однако эксплуатация двухсистемной тяги не приведет к максимальной эффективности из-за большой протяженности каждой из систем тягового электроснабжения, кроме направления на Туапсе, и малого числа станций стыкования. При этом грузооборот порта Туапсе занимает лишь 3-е место в бассейне и 9-е среди всех морских портов страны. Важно отметить, что основу конъюнктуры (около 70 %) морских портов Азово-Черноморского бассейна составляют наливные грузы (сырая нефть, светлые, темные нефтепродукты и др.), а доля перевалки сухих грузов, в первую очередь каменного угля, невысока.

ПЕРСПЕКТИВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДВУХСИСТЕМНОЙ ТЯГИ НА ПОЛИГОНЕ КУЗБАСС – СЕВЕРО-ЗАПАД

В сравнении со всеми другими полигонами направление Кузбасс — Северо-Запад развивается наиболее динамично. Отказ Российской Федерации с 2012 г. от перевалки грузов в портах бывших Прибалтийских республик, ныне вошедших в состав Европейского союза, побудил развивать собственную портовую инфраструктуру на берегах Балтийского и Баренцева морей. На лидирующие позиции по объему перевалки в регионе вышел морской торговый порт Усть-Луга, занимающий по грузообороту 2-е место в России. Примыкающая к порту железнодорожная станция Лужская — одна из крупнейших в стране. Здесь реализованы новейшие решения управления сортировочной работой. В 2017 г. в рамках инвестиционного проекта «Комплексная реконструкция участка Мга — Гатчина — Веймарн — Ивангород и железнодорожных подходов к портам на южном берегу Финского залива» завершены мероприятия по усилению и электрификации подходов к Лужскому узлу, что позволило перейти от тепловозной тяги к электровозной на всем протяжении от Кузбасса до Северо-Запада. Полигон испытывает значительные сложности в пропуске возрастающего поездопотока, сдерживающий фактор — недостаточное развитие инфраструктуры: путевой, станционной, устройств тягового электроснабжения. Данное направление проходит через наиболее густонаселенные районы и характеризуется интенсивным дальним пассажирским и пригородным движением (участок Омск — Тюмень — Екатеринбург — Пермь — Киров — Нижний Новгород), что ограничивает пропускную способность для грузового движения за счет высокого коэффициента съема грузовых поездов пассажирскими. На полигоне функционируют два участка, электрифицированных системой переменного тока: Артышта-2 — Алтайская — Иртышское и Балезино — Лянгасово — Лоста — Бабаево, а также два участка, работающих на постоянном токе: Иртышское — Войновка — Екатеринбург-Сорт. (Седельниково) — Пермь-Сорт. — Балезино и Бабаево — Волховстрой — Гатчина — Лужская. Различные системы тягового электроснабжения стыкуются на трех участковых станциях: Иртышское, Балезино и Бабаево, которые функционируют в напряженном режиме, но не ограничивают протяженность плеч работы локомотивных бригад грузового движения ввиду удачного географического расположения (табл. 1). Плечо работы бригад от Бабаево до Лужской протяженностью 526 км является одним из самых длинных в России.

Парк электровозов постоянного тока в основном представлен новыми локомотивами — Э3С4к, ЗЭ3С4к, Э3С6, Э3С10. Тяговое обслуживание на переменном токе выполняют электровозы ВЛ80с и 1,5ВЛ80с. На полигоне осуществляется пропуск грузовых поездов повышенной массы и длины — «девяти-тысячников», но в силу инфраструктурных ограничений их число лимитировано.

Эксплуатация двухсистемных электровозов Э3В120 на полигоне Кузбасс — Северо-Запад сможет повысить массу грузовых поездов, разгрузить стыковые станции Иртышское, Балезино и Бабаево, однако в целом не увеличит пропускные

способности направления. Наличие ограничений по условиям тягового электроснабжения на постоянном токе не позволит независимо от серий ведущих локомотивов увеличить количество поездов повышенной массы и длины до завершения реконструкции лимитирующих устройств. Другой недостаток эксплуатации двухсистемных локомотивов на этом полигоне — нецелесообразность дальнейшего укрупнения плеч работы локомотивных бригад, особенно тяготеющих к станциям стыкования родов тока.

Таблица 1

Протяженность плеч работы локомотивных бригад грузового движения на полигоне Кузбасс — Северо-Запад

Плечо работы локомотивной бригады	Протяженность, км
Пермь-Сортировочная — Балезино	238
Балезино — Лянгасово	240
Балезино — Шарья	482
Лоста — Бабаево	255
Буй — Бабаево	378
Бабаево — Волховстрой	230
Бабаево — Лужская	526

ПРЕИМУЩЕСТВА ПОЛИГОНА КУЗБАСС – ЦЕНТР ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДВУХСИСТЕМНЫХ ГРУЗОВЫХ ЭЛЕКТРОВЗОВ

Наиболее оптимальным для эксплуатации в грузовом движении электровозов серии Э3В120 является полигон тяжеловесного движения Кузбасс — Центр. Именно здесь зародились технологии регулярного обращения поездов повышенной массы и длины. В 2007 г. на станции Зюрья Горьковской железной дороги из трех поездов массой 6000 т сформировали два «девяти-тысячника» и провели до станции Вековка. Впоследствии тяжеловесные технологии стали полигонными и используются на пяти железных дорогах — Западно-Сибирской, Южно-Уральской, Свердловской, Горьковской и Московской.

В графике движения полигона Кузбасс — Центр предусмотрено обращение меньшего количества пассажирских поездов по сравнению с полигоном Кузбасс — Северо-Запад (участок Екатеринбург — Казань — Москва), что снижает коэффициент съема и дает возможность пропускать 12 нечетных поездов повышенной массы и длины на всем протяжении.

В основу нечетного вагонопотока полигона входят как «девяти-тысячники», так и обычные тяжеловесные поезда. Четный вагонопоток представлен преимущественно порожними составами из вагонов, возвращаемых под погрузку. Кроме того, на входящем в полигон участке от Екатеринбурга до Москвы обращается максимальное количество транссибирских ускоренных контейнерных поездов (рис. 2), вождение которых двухсистемными электровозами позитивно скажется на маршрутной скорости.



Рис. 2. Перевозка грузов в контейнерах на сети РЖД за 11 месяцев 2017 г. по сравнению с аналогичным периодом 2016 г., тыс. TEU [6]

Инфраструктура полигона Кузбасс — Центр состоит из двух участков переменного тока: Артышта-2 — Иртышское и Дружинино — Вековка, а также двух участков постоянного тока: Иртышское — Курган — Екатеринбург-Сорт. (Седельниково) — Дружинино и Вековка — Орехово-Зуево (Бекасово-Сорт.). Участки с различными системами тягового электроснабжения стыкуются на трех станциях: Иртышское, Дружинино, Вековка.

В связи с преобладанием предъявляемого поездопотока над потребной пропускной способностью полигона Кузбасс — Северо-Запад, часть вагонопотоков на постоянной основе отклоняется на полигон Кузбасс — Центр, в первую очередь в поездах повышенной массы и длины (сформированные на станции Алтайская поезда назначением Мурманск, Лужская, Орехово-Зуево и др.). В кружной маршрут следования вагонопотоков северо-западного направления входят уже три участка переменного тока (добавляется Данилов — Лоста — Бабаево) и три постоянного тока (добавляется Бабаево — Волховстрой — Лужская). Количество стыковых станций увеличивается с трех до пяти (добавляются Данилов, Бабаево).

Для преодоления горно-перевальных участков полигона в тяжеловесном движении осуществляется подталкивание на участ-

ках Красноуфимск — Чад, Зеленый Дол — Тюрлема и Дружинино — Солдатка с использованием локомотивов ВЛ80с. На перегоне Ревда — Ильмовка при неблагоприятных погодных условиях применяется кратная тяга, выраженная с прицепкой в голову девятитысячному поезду вспомогательных локомотивов 2ВЛ10к, 2ВЛ11к на станциях Решеты или Седельниково. Тяговые расчеты показывают, что эксплуатация двухсистемных электровозов в двухсекционном исполнении на всех лимитирующих участках позволит отказаться от подталкивания и одновременно увеличить массу грузового поезда с 6300 до 7300 т [7].

Помимо стыковых станций на полигоне расположены станции перелома профиля — Екатеринбург-Сорт. и Седельниково, где производится смена локомотивов всем поездам, кроме «девятитысячников». Наличие станций стыкования и перелома профиля ограничивает плечи работы локомотивных бригад — на полигоне Кузбасс — Центр эксплуатируются наиболее короткие плечи работы локомотивов и локомотивных бригад [3] (рис. 3).

Таким образом, постоянная эксплуатация двухсистемных электровозов на полигоне Кузбасс — Центр даст наилучший эффект при организации поездной работы за счет увеличения массы грузовых поездов, маршрутной скорости движения контейнерных поездов, отказа от использования вспомогательных локомотивов на горно-перевальных участках, разгрузки большего числа стыковых станций, снижения инвестиционной нагрузки на развитие узких мест полигона Кузбасс — Северо-Запад за счет кружного направления излишнего вагонопотока на полигон Кузбасс — Центр.

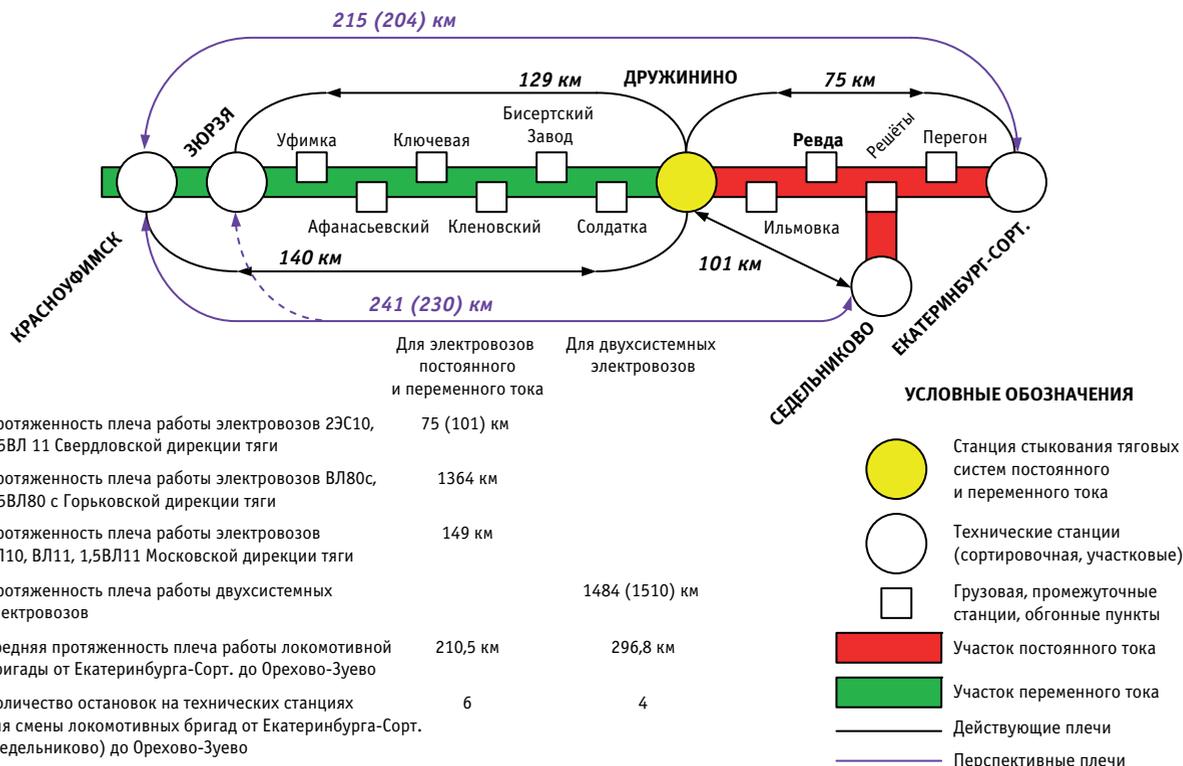


Рис. 3. Тяговые плечи работы локомотивов и локомотивных бригад грузового движения в условиях ограничивающего воздействия станции стыкования

Литература

1. ТР ТС 001/2011. О безопасности железнодорожного подвижного состава : утв. решением Комиссии Таможенного союза от 15.07.2011 г. № 710 [Электронный ресурс]. URL: http://www.tsouz.ru/kts/kts29/documents/p_710_9.pdf (дата обращения: 27.01.2018).
2. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации. М. : ООО «Техинформ» ; ООО Центр «Транспорт», 2012. 520 с.
3. Малахов А. В., Пермикин В. Ю., Васильев Э. В. Повышение эффективности работы стыковых станций и смежных участков при эксплуатации в грузовом движении электровозов двойного питания // Транспорт Урала. 2017. № 2 (53). С. 32–36. DOI: 10.20291/1815-9400-2017-2-32-36. ISSN 1815–9400.
4. Новый рекорд // РЖД-Партнер. 2017. № 24 (364). С. 34.
5. Уголь: новые рекорды // РЖД-Партнер. 2017. № 24 (364). С. 14.
6. Кому контейнер по плечу? // РЖД-Партнер. 2017. № 24 (364). С. 50–52.
7. Исследование тяговых возможностей двухсистемного электровоза 2ЭВ120 для эксплуатации на полигоне Кузбасс — Центр / В. Ю. Пермикин, Э. В. Васильев, А. В. Малахов и др. // Транспорт Урала. 2017. № 3 (54). С. 41–48. DOI: 10.20291/1815-9400-2017-3-41-48. ISSN 1815–9400.

References

1. Technical regulation of the Customs Union 001/2011. About safety of the railway rolling stock [TR TS 001/2011. O bezopasnosti zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava] : approved by decision of the Customs Union Committee dated 15.07.2011 No. 710 [Electronic resource]. URL: http://www.tsouz.ru/kts/kts29/documents/p_710_9.pdf (access date: 27.01.2018).
2. Railway operating rules of the Russian Federation [Pravila tekhnicheskoy ekspluatatsii zheleznikh dorog Rossiyskoy Federatsii]. M. : LLC «Tekhinform» ; LLC Center «Transport», 2012. 520 p.
3. Malakhov A. V., Permikin V. Yu., Vasilyev E. V. Improvement of efficiency of work of butt-joint stations and contiguous section in operation in the traffic movement of locomotive of double supply [Povyshenie effektivnosti raboty stykovykh stantsiy i smezhnykh uchastkov pri ekspluatatsii v gruzovom dvizhenii elektrovovozov dvoynogo pitaniya] // Transport of the Urals. 2017. No. 2 (53). Pp. 32–36. DOI: 10.20291/1815-9400-2017-2-32-36. ISSN 1815-9400.
4. New record [Novyy rekord] // RZhD-Partner. 2017. No. 24 (364). P. 34.
5. Coal: new records [Ugol': novye rekordy] // RZhD-Partner. 2017. No. 24 (364). P. 14.
6. Who can handle the container? [Komu konteyner po plechu?] // RZhD-Partner. 2017. No. 24 (364). Pp. 50–52.
7. The research of traction capabilities of a two-system electric locomotive 2EV120 for operation at the Kuzbass — Center testing polygon [Issledovanie tyagovykh vozmozhnostey dvukhsistemnogo elektrovoza 2EV120 dlya ekspluatatsii na poligone Kuzbass — Tsentr] / V. Yu. Permikin, E. V. Vasilyev, A. V. Malakhov, et al. // Transport of the Urals. 2017. No. 3 (54). Pp. 41–48. DOI: 10.20291/1815-9400-2017-3-41-48. ISSN 1815-9400.

Объем статьи 0,84 авторских листа

УДК 378.014.54

Татьяна Алексеевна Конова, старший преподаватель кафедры «Экономика транспорта» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, Россия,
 Владимир Алексеевич Антропов, доктор экономических наук, профессор кафедры «Управление в социальных и экономических системах» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, Россия

ПРОБЛЕМА ОЦЕНКИ ДОСТАТОЧНОСТИ ИНФРАСТРУКТУРЫ ВУЗОВ ДЛЯ КАЧЕСТВЕННОЙ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ

Tatyana Alexeyevna Konova, Senior Lecturer, Transport Economics Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg, Russia,
 Vladimir Alexeyevich Antropov, DSc in Economics, Professor, Management in Social and Economic Systems Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg, Russia

The problem of assessing the sufficiency of higher educational establishments infrastructure for quality training of specialists

Аннотация

Реформирование системы образования Российской Федерации направлено на повышение качества подготовки выпускников при эффективном использовании материальных, трудовых и денежных ресурсов. Материально-техническая база и материально-техническое обеспечение относятся к одним из важнейших факторов образовательного процесса. В последнее время ресурсная база вузов ухудшается, но динамика изменения показателей инфраструктуры и ее отдельных компонентов разная: в одних вузах уровень инфраструктуры улучшается, в других — происходит значительное ухудшение. Несмотря на наличие федеральных образовательных стандартов, регламентирующих формирование ресурсной базы вузов, нет главного — интегрального показателя достаточности инфраструктуры, ниже которого качество подготовки специалистов не может быть достигнуто. Не менее остра эта проблема и при подготовке специалистов для железнодорожного транспорта. В статье предпринята попытка проанализировать показатели, при помощи которых оценивают уровень инфраструктуры высших учебных заведений, с точки зрения эффективности деятельности вузов в сфере образования. Отдельно рассмотрена инфраструктура железнодорожных вузов.

Ключевые слова: материально-техническая база, инфраструктура вуза, качество подготовки специалистов, мониторинг эффективности вузов, параметры эффективности вуза.

Summary

The reform of the Russian Federation education system is aimed at improving the quality of training the graduates with the effective use of material, labor and money resources. Material and technical basis and logistical support are among the most important factors of the educational process. In recent years, the resource basis of higher educational establishments is deteriorating, but the dynamics of changes in infrastructure indices and its individual components is different: in some higher educational establishments, the infrastructure is improving, in others — there is a significant deterioration. Despite the presence of the Federal educational standards regulating the higher educational establishments resource basis formation, there is no the main thing — an integral index of the infrastructure sufficiency, below which the quality of training can not be achieved. This problem is no less relevant in training of specialists for railway transport. The paper attempts to analyze the indices by which the level of higher educational establishments infrastructure is assessed in terms of their effectiveness in the sphere of education. The infrastructure of railway higher educational establishments is considered separately.

Keywords: material and technical basis, infrastructure of higher educational establishment, quality of training, monitoring of higher educational establishment effectiveness, parameters of higher educational establishments effectiveness.

Реформирование системы образования Российской Федерации нацелено на повышение качества подготовки выпускников, реализацию возросших потребностей работодателей, развитие научной деятельности. Одними из значимых факторов процесса обучения являются состояние материально-технической базы и материально-техническое обеспечение учебных заведений [1]. При этом важно определить, какой уровень материально-технической базы будет достаточным для качественной подготовки обучающихся [2]. Прежде всего, показатели материально-технической базы учебных заведений должны соответствовать требованиям федеральных образовательных стандартов [3]. В целях оценки эффективности работы образовательных учреждений с 2012 г. ежегодно проводится мониторинг вузов [4], и среди анализируемых параметров определяется в том числе и уровень инфраструктуры вуза (филиала).

Инфраструктура вуза характеризуется рядом показателей: общей площадью учебно-лабораторных помещений в расчете на одного студента (приведенного контингента), имеющихся у вуза на праве собственности, переданных учредителем, закрепленных за вузом на праве оперативного управления и безвозмездного пользования; количеством персональных компьютеров в расчете на одного студента (приведенного контингента); удельным весом стоимости машин и оборудования (не старше 5 лет) в общей стоимости машин и оборудования; количеством экземпляров печатных учебных изданий (включая учебники и учебные пособия) в общем числе единиц хранения библиотечного фонда, состоящих на учете, в расчете на одного студента (приведенного контингента) [4].

Показатель, характеризующий инфраструктуру вуза, определяется по формуле

DOI: 10.20291/1815-9400-2018-2-28-34

$$E_{\text{инфр}} = \frac{S_{\text{собств}} + S_{\text{опер}} + S_{\text{безвозм}}}{S},$$

где $S_{\text{собств}}$ — общая площадь учебно-лабораторных помещений, имеющих у вуза на праве собственности, м²;

$S_{\text{опер}}$ — общая площадь учебно-лабораторных помещений, переданных учредителем, закрепленных за вузом на праве оперативного управления, м²;

$S_{\text{безвозм}}$ — общая площадь учебно-лабораторных помещений, предоставленных вузу в безвозмездное пользование, м²;

S — приведенный контингент студентов.

Представим анализ показателя «инфраструктура» по результатам мониторинга эффективности деятельности вузов, проведенного в 2014 г. (приняли участие 1846 вузов, из них 823 головных организаций и 1023 филиала) [5]. В табл. 1 приведены средние значения показателя «инфраструктура» с разбиением вузов на головную организацию и филиал в зависимости от ведомственной (государственная, негосударственная) и групповой принадлежности. Министерством образования и науки Российской Федерации высшие учебные заведения были распределены по четырем группам (в соответствии с территориальным критерием): к первой отнесены все вузы и филиалы Москвы, ко второй — вузы и филиалы Санкт-Петербурга, к третьей — вузы и филиалы 17 субъектов РФ, к четвертой — вузы и филиалы оставшихся субъектов (деление двух последних групп осуществлялось в зависимости от финансово-экономического положения региона).

Таблица 1

Средние значения показателя «инфраструктура» по группам вузов (в числителе — площадь инфраструктуры, м², в знаменателе — число вузов)

Группа	Головная организация	Филиал	Всего
<i>Государственные высшие образовательные учреждения</i>			
I	$\frac{20,4}{91}$	$\frac{5,3}{3}$	$\frac{19,9}{94}$
II	$\frac{23,8}{40}$	$\frac{9,5}{6}$	$\frac{21,9}{46}$
III	$\frac{17,8}{145}$	$\frac{32,4}{193}$	$\frac{26,2}{338}$
IV	$\frac{18,1}{257}$	$\frac{34,3}{479}$	$\frac{28,7}{736}$
<i>Негосударственные высшие образовательные учреждения</i>			
I	$\frac{12,2}{98}$	$\frac{0}{3}$	$\frac{11,9}{101}$
II	$\frac{10,4}{23}$	$\frac{23,7}{5}$	$\frac{12,8}{28}$
III	$\frac{21,6}{61}$	$\frac{19,8}{94}$	$\frac{20,5}{155}$
IV	$\frac{20,3}{108}$	$\frac{17,5}{240}$	$\frac{18,4}{348}$

Как видно из табл. 1, значения показателя «инфраструктура» имеют большой разброс: от 5,3 м² (филиалы государственных вузов Москвы) до 34,3 м² (филиалы государственных вузов IV группы), отличие составляет более чем 6,5 раза. Четвертая группа — самая многочисленная: в нее входит 58 % общего количества вузов, а число филиалов в 2 раза выше, чем головных организаций.

Значения показателя «инфраструктура» отличаются по головным организациям и филиалам, а также по группам и ведомственной принадлежности вузов. Для более подробного анализа рассчитаны коэффициенты превышения этого показателя в соответствии с представленной детализацией вузов (результаты расчетов приведены в табл. 2):

коэффициент превышения показателя инфраструктуры в головной организации государственного вуза над соответствующим показателем в головной организации негосударственного вуза

$$K_{\text{гос/негос}}^{\text{ГО}} = \frac{S_{\text{гос}}^{\text{ГО}}}{S_{\text{негос}}^{\text{ГО}}};$$

коэффициент превышения показателя инфраструктуры в филиалах государственного вуза над соответствующим показателем в филиалах негосударственного вуза

$$K_{\text{гос/негос}}^{\Phi} = \frac{S_{\text{гос}}^{\Phi}}{S_{\text{негос}}^{\Phi}};$$

коэффициент превышения показателя инфраструктуры в головной организации над показателем в филиалах государственного вуза

$$K_{\text{ГО/Ф}}^{\text{гос}} = \frac{S_{\text{гос}}^{\text{ГО}}}{S_{\text{гос}}^{\Phi}};$$

коэффициент превышения показателя инфраструктуры в головной организации над показателем в филиалах негосударственного вуза

$$K_{\text{ГО/Ф}}^{\text{негос}} = \frac{S_{\text{негос}}^{\text{ГО}}}{S_{\text{негос}}^{\Phi}};$$

коэффициент превышения показателя инфраструктуры в государственных вузах над соответствующим показателем в негосударственных вузах

$$K_{\text{гос/негос}} = \frac{S_{\text{гос}}}{S_{\text{негос}}}.$$

Таблица 2

Коэффициенты превышения показателя «инфраструктура» по группам вузов

Группа	$K_{\text{гос/негос}}^{\text{ГО}}$	$K_{\text{гос/негос}}^{\text{Ф}}$	$K_{\text{ГО/Ф}}^{\text{гос}}$	$K_{\text{ГО/Ф}}^{\text{негос}}$	$K_{\text{гос/негос}}$
I	1,67	—	3,85	—	1,67
II	2,29	0,4	2,51	0,44	1,71
III	0,82	1,64	0,55	1,09	1,28
IV	0,89	1,96	0,53	1,16	1,56

Наиболее значительно отличаются коэффициенты в головных организациях и филиалах государственных вузов, причем в вузах Москвы и Санкт-Петербурга показатель инфраструктуры в головной организации выше, чем в филиале, в 3,85 и 2,51 раза соответственно, а в вузах остальных субъектов РФ — наоборот: показатель инфраструктуры в головной организации меньше, чем в филиале (коэффициенты равны 0,55 и 0,53 соответственно для III и IV групп).

На основе анализа данных табл. 1 и 2 можно сделать следующие выводы:

в головных организациях государственных вузов I и II групп показатель инфраструктуры выше, чем в негосударственных вузах ($K_{\text{гос/негос}}^{\text{ГО}} > 1$), а вузов III и IV групп — наоборот ($K_{\text{гос/негос}}^{\text{ГО}} < 1$);

в филиалах государственных вузов показатель инфраструктуры выше, чем в филиалах негосударственных вузов (кроме филиалов Санкт-Петербурга).

Если рассматривать вузы в целом, без деления на головные организации и филиалы, то в государственных вузах показатель инфраструктуры выше, чем в негосударственных (коэффициент превышения изменяется от 1,28 до 1,71 в зависимости от группы).

В разрезе федеральных округов (табл. 3) среднее значение показателя инфраструктуры также колеблется: минимальное (11,9 м²) — в головной организации негосударственного вуза Северо-Западного федерального округа, максимальное (87,4 м²) — в филиалах государственных вузов Дальневосточного федерального округа, отличие составляет 7,34 раза. Среднее значение показателя инфраструктуры по Российской Федерации равно 23,8 м², в том числе по головным организациям — 18,19 м², по филиалам — 38,87 м². Превышение среднего значения показателя в филиалах в 2,14 раза может быть связано с тем, что приведенный контингент студентов в филиалах меньше, чем в головных организациях, так как в филиалах основная часть студентов обучается на заочном отделении.

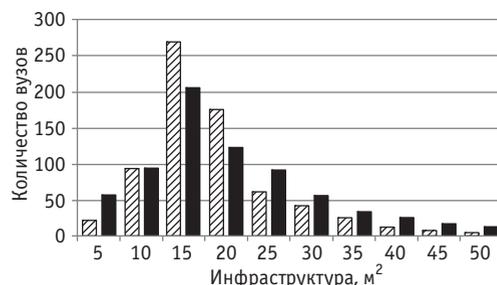


Рис. 1. Распределение значений показателя инфраструктуры по головным организациям и филиалам [6]:
▨ — головная организация; ■ — филиал

Таблица 3

Средние значения и статистические оценки показателя «инфраструктура» в разрезе федеральных округов (в числителе — данные по государственным, в знаменателе — по негосударственным вузам)

Федеральный округ	Средние значения показателя, м ²		Статистические оценки показателя			
	Головная организация	Филиал	Медиана	Среднее	СКО	Коэффициент вариации, %
Дальневосточный	20,9	87,4	17,1	52,7	203,7	386,7
	46,0	32,7				
Приволжский	16,6	35,6	13,8	25,6	73,8	288,1
	15,3	19,2				
Северо-Западный	29,4	23,1	13,6	23,5	45,2	192,6
	11,9	22,3				
Северо-Кавказский	14,6	13,8	13,7	15,1	11,9	79,1
	18,6	14,5				
Сибирский	13,9	44,9	13,2	27,4	68,1	249,1
	23,27	14,5				
Уральский	19,0	26,3	14,7	22,8	28,7	125,8
	26,7	17,8				
Центральный	19,3	35,0	14,3	21,0	38,6	183,9
	13,7	15,1				
Южный	15,8	18,4	13,9	18,1	19,8	109,2
	18,2	19,3				
Российская Федерация	18,19	38,87	—	23,8	—	—

Как видно из рис. 1, примерно в 250 вузах значение показателя инфраструктуры менее 15 м², почти в 480 вузах — 15 м², в 300 вузах — 20 м² и более чем в 400 вузах — 25 м² и выше. То есть 15–20 м² — наиболее распространенный показатель.

Итак, какое же значение показателя инфраструктуры можно считать достаточным, т.е. оптимальным, для качественной подготовки кадров? Отметим, что недостаток площадей отрицательно влияет на условия обучения студентов и работы профессорско-педагогического состава (у ППС продолжительность рабочего времени в течение суток может превышать 8 ч, у студентов появляются окна в учебе из-за невозможности составить компактное расписание занятий, количество учебных смен — две), а значит, на качество подготовки кадров. В то же время избыток площадей приводит к нерациональному их использованию и дополнительной потребности в денежных средствах на содержание, эксплуатацию инфраструктуры, сдаче в аренду, нецелевому использованию учебных помещений [7].

В табл. 4 представлены средние значения показателя инфраструктуры в разрезе таких характеристик образователь-

ных организаций, как статус, вид, ведомственная принадлежность и организационно-правовая форма.

Данные табл. 4 тоже демонстрируют большой разброс значений показателя — от 2,5 до 99,3 м², т.е. более чем в 39 раз. По университетам, которые составляют 55 % от общего числа вузов, на одного студента приходится от 5,6 до 33 м² инфраструктуры, по институтам — от 17,2 до 36,7, по академиям — от 2,5 до 99,3 м². В бюджетных государственных образовательных организациях показатель инфраструктуры выше, чем в частных, кроме государственных филиалов институтов и академий (см. табл. 4). Также можно отметить, что показатель инфраструктуры в филиалах выше, чем в головных организациях.

В работе [6] при помощи анализа основных (единых для всех вузов) показателей эффективности деятельности высшие учебные заведения разделены на 7 кластеров. Нами для изучения зависимости качества подготовки от инфраструктуры были использованы некоторые результаты этого исследования (табл. 5).

Таблица 4

Средние значения показателя инфраструктуры
в разрезе характеристик образовательной организации

Статус (доля от общего числа вузов)	Вид организации	Ведомственная принадлежность	Организационно-правовая форма	Число вузов	Среднее значение показателя инфраструктуры, м ²	Коэффициент превышения показателя в бюджетной организации по сравнению с частной
Университет (55 %)	Головная	Государственная	Бюджетная	328	15,5	1,02
			Частная	1	15,1	
		Негосударственная	Бюджетная	2	5,6	0,34
			Частная	20	16,2	
	Филиал	Государственная	Бюджетная	517	33,0	1,375
			Частная	21	24,0	
		Негосударственная	Бюджетная	19	14,8	0,79
			Частная	101	18,7	
Институт (28 %)	Головная	Государственная	Бюджетная	70	29,2	1,26
			Частная	9	23,2	
		Негосударственная	Бюджетная	19	18,7	1,09
			Частная	221	17,2	
	Филиал	Государственная	Бюджетная	31	21,1	0,57
			Частная	2	36,7	
		Негосударственная	Бюджетная	9	26,5	1,42
			Частная	166	18,6	
Академия (17 %)	Головная	Государственная	Бюджетная	122	22,0	8,8
			Частная	3	2,5	
		Негосударственная	Бюджетная	1	19,9	1,26
			Частная	27	15,8	
	Филиал	Государственная	Бюджетная	108	39,7	0,40
			Частная	2	99,3	
		Негосударственная	Бюджетная	0	–	–
			Частная	47	14,4	

Таблица 5

Максимальные, минимальные и средние значения показателей образовательной деятельности и инфраструктуры

Номер кластера		1	6	5	4	2	0	3	Всего по РФ
Число вузов в кластере		711	580	342	183	15	10	5	1846
Число вузов в кластере, прошедших мониторинг эффективности деятельности		442	191	50	158	5	3	0	849
Доля вузов кластера, прошедших мониторинг эффективности деятельности, %		62	33	15	86	33	30	0	46
Образовательная деятельность, балл	max	71,6	59,5	70,2	100	66,2	0,0	0,0	–
	среднее значение	63,1	53,7	0,1	75,3	34,8	0,0	0,0	48,9
	min	0,0	35,6	0,0	61	0,0	0,0	0,0	–
Инфраструктура, м ²	max	639,1	223,9	409,3	130,5	152,4	29,2	1882,8	–
	среднее значение	16,5	19,9	35,5	18,4	19,5	9,8	935,4	23,8
	min	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	457,6	–

Анализ инфраструктуры выявил, что при наличии образовательных стандартов, показателей лицензирования и аккредитации разброс значений гигантский. Поэтому необходимо разработать критерии оптимального значения инфраструктуры, методологические подходы к определению критериев и стандарты материально-технической базы вуза в зависимости от направленности его образовательной деятельности.

Профиль вуза (гуманитарный или технический), отрасль, в которой он работает (транспортные вузы, экономические и др.), оказывают влияние на структуру материально-технической базы и инфраструктуру учебного заведения. Рассмотрим, насколько показатели инфраструктуры и образовательной деятельности железнодорожных вузов (табл. 6) выделяются среди показателей других образовательных организаций.

Итак, с учетом кластеризации, приведенной в табл. 5, железнодорожные вузы можно отнести к наиболее многочисленному — первому кластеру.

Для всех показателей эффективности вуза установлены пороговые значения (в табл. 6 приведены данные мониторинга эффективности вузов за 2014 г.), по некоторым вузам эти значения отличаются. Анализ показателей образовательной деятельности позволяет сделать вывод, что они в основном соответствуют пороговым значениям, несущественно отличаясь от них в большую или меньшую сторону. А вот значения показателя инфраструктуры имеют гораздо большие отклонения, причем чаще всего характерна недостаточная обеспеченность площадями. Для примера в табл. 7 приведена динамика показателей инфраструктуры железнодорожных вузов в 2014–2017 гг.

Таблица 6

Сравнение показателей инфраструктуры и образовательной деятельности вузов железнодорожного транспорта

Вуз	Инфраструктура, м ²		Образовательная деятельность, балл	
	Значение показателя вуза	Пороговое значение	Значение показателя вуза	Пороговое значение
Петербургский государственный университет путей сообщения	18,41	13,13	64,3	66,38
Российский университет транспорта (МИИТ)	13,32	14,09	62,77	64,5
Омский государственный университет путей сообщения	9,67	14,51	59,79	60
Ростовский государственный университет путей сообщения	12,33	13,92	61,51	60
Дальневосточный государственный университет путей сообщения	9,79	14,51	59,55	60
Иркутский государственный университет путей сообщения	11,03	14,51	58,28	60
Сибирский государственный университет путей сообщения	8,91	13,92	64,06	60
Самарский государственный университет путей сообщения	9,19	14,51	58,13	60
Уральский государственный университет путей сообщения	13,23	14,51	63,93	60

Таблица 7

Показатели инфраструктуры вузов железнодорожного транспорта

Вуз	Инфраструктура, м ²			
	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.
Петербургский государственный университет путей сообщения	18,41	17,46	18,09	17,79
Российский университет транспорта (МИИТ)	13,32	12,46	13,07	12,62
Омский государственный университет путей сообщения	9,67	9,95	10,39	11,50
Ростовский государственный университет путей сообщения	12,33	11,78	12,23	12,64
Дальневосточный государственный университет путей сообщения	9,79	9,57	10,48	10,82
Иркутский государственный университет путей сообщения	11,03	13,00	14,29	14,19
Сибирский государственный университет путей сообщения	8,91	8,89	9,62	9,64
Самарский государственный университет путей сообщения	9,19	9,87	11,7	12,60
Уральский государственный университет путей сообщения	13,23	12,23	12,66	12,67

Необходимо отметить, что с 2015 г. показатели инфраструктуры вузов сравниваются с медианными значениями показателей государственных и муниципальных вузов, а также вузов данного региона. Пороговые значения по показателю инфраструктуры в отчетах мониторинга указываться перестали.

Итак, как следует из анализа, оценки инфраструктуры вузов достаточно противоречивы. В первую очередь нет главного — интегрального показателя достаточности материально-технического обеспечения, ниже которого качество подготовки специалистов не может быть достигнуто либо будет достигнуто, но в ущерб другим не менее важным характеристикам, таким как подготовленность профессорско-преподавательского состава [8].

На наш взгляд, данная проблема относится прежде всего к методологии формирования предметно-пространственной среды образовательного учреждения. О ней мало говорят, но без ее решения в условиях модернизации образования невозможно организовать качественное обучение. Авторитарные методы обучения требовали соответствующих аудиторий и оснащения, а для информационно-коммуникационного базиса нужна совсем иная архитектурная планировка аудиторий и их наполнение современными средствами обучения.

Необходимый для организации инфраструктуры вуза математический аппарат по оценке площадей приведен в данной статье.

Литература

1. Конова Т. А. Конкретизация понятийно-терминологического аппарата оценки материально-технической базы вуза // Транспорт Урала : матер. науч.-техн. конф., посв. 135-летию Свердловской железной дороги. Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2014. Вып. 1 (199). 1 электронно-оптический диск (CD-ROM). ISBN 978-5-94614-274-8.
2. Антропов В. А., Конова Т. А. Организация материально-технического обеспечения образовательных учреждений высшего профессионального образования // Вестник УГТУ-УПИ. Сер. : Экономика и управление. 2011. № 6. С. 162–173. ISSN 2412–5725.
3. Конова Т. А., Нестеров В. Л. Оценка эффективности использования материально-технической базы вузов в системе показателей качества подготовки специалистов // Фундаментальные исследования. 2014. № 12. Ч. 10. С. 2103–2107. ISSN 1812–7339.
4. Об осуществлении мониторинга системы образования : постановление Правительства Рос. Федерации от 05.08.2013 г. № 662 // Собрание законодательства Российской Федерации. 2013. № 33. Ст. 4378.

References

1. Konova T. A. Concretization of conceptual and terminological apparatus for the evaluation of university material and technical basis [Konkretizatsiya ponyatiyno-terminologicheskogo apparata otsenki material'no-tekhnicheskoy bazy vuza] // Transport of the Urals : materials of the scientific and technical conference dedicated to 135th anniversary of the Sverdlovsk Railway. Ekaterinburg : Publishing House of USURT, 2014. Issue 1 (199). 1 CD-ROM. ISBN 978-5-94614-274-8.
2. Antropov V. A., Konova T. A. Organization of technical, financial and administrative support for universities [Organizatsiya material'no-tekhnicheskogo obespecheniya obrazovatel'nykh uchrezhdeniy vysshego professional'nogo obrazovaniya] // Bulletin of Ural Federal University. Series Economics and Management. 2011. No. 6. Pp. 162–173. ISSN 2412–5725.
3. Konova T. A., Nesterov V. L. Estimation of the efficiency of use of material-technical base of universities in the system of indicators of the quality of training [Otsenka effektivnosti ispol'zovaniya material'no-tekhnicheskoy bazy vuzov v sisteme pokazateley kachestva podgotovki spetsialistov] // Fundamental research. 2014. No. 12. Part 10. Pp. 2103–2107. ISSN 1812–7339.
4. On the implementation of the education system monitoring [Ob osushchestvlenii monitoringa sistemy obrazovaniya] : Order of the Government of the Russian Federation from 05.08.2013 No. 662 // Collection of Legislative Acts of the Russian Federation. 2013. No. 33. Paper 4378.

5. Информационно-аналитические материалы по результатам проведения мониторинга эффективности деятельности образовательных организаций высшего образования [Электронный ресурс]. URL: <http://indicators.miccedu.ru/monitoring/?m=vpo> (дата обращения: 01.03.2018).
6. Анализ показателей эффективности деятельности российских вузов / М. П. Астафьева, О. А. Зятева, И. В. Пешкова, Е. А. Питухин // Университетское управление: практика и анализ. 2015. № 4. С. 4–18. ISSN 1999–6640.
7. Нестеров В. Л., Конова Т. А. Оценка деятельности вузов в части материально-технического обеспечения образовательного процесса // Фундаментальные исследования. 2015. № 5–2. С. 428–432. ISSN 1812–7339.
8. Конова Т. А., Антропов В. А. Оценка уровня материально-технической базы транспортного вуза // Транспорт Урала. 2015. № 4 (47). С. 29–33. DOI: 10.20291/1815-9400-2015-4-29-33. ISSN 1815–9400.

5. Information and analytical materials on the results of monitoring the effectiveness of higher educational establishments [Informatsionno-analiticheskie materialy po rezul'tatam provedeniya monitoringa effektivnosti deyatel'nosti obrazovatel'nykh organizatsiy vysshego obrazovaniya]. [Electronic resource]. URL: <http://indicators.miccedu.ru/monitoring/?m=vpo> (access date: 01.03.2018).
6. Russian universities in terms of performance indicators [Analiz pokazateley effektivnosti deyatel'nosti rossiyskikh vuzov] / M. P. Astafyeva, O. A. Zyateva, I. V. Peshkova, E. A. Pitukhin // University Management: Practice and Analysis. 2015. No. 4. Pp. 4–18. ISSN 1999-6640.
7. Nesterov V. L., Konova T. A. Evaluation of university efficiency in terms of technical, financial and administrative support of the educational process [Otsenka deyatel'nosti vuzov v chasti material'no-tekhnicheskogo obespecheniya obrazovatel'nogo protsessa] // Fundamental research. 2015. No. 5-2. Pp. 428–432. ISSN 1812-7339.
8. Konova T. A., Antropov V. A. Assessment of the level of infrastructure and facilities of a transport university [Otsenka urovnya material'no-tekhnicheskoy bazy transportnogo vuza] // Transport of the Urals. 2015. No. 4 (47). Pp. 29–33. DOI: 10.20291/1815-9400-2015-4-29-33. ISSN 1815-9400.

Объем статьи 0,6 авторских листа

УДК 656.212.5

Константин Ильич Корниенко, преподаватель кафедры «Управление эксплуатационной работой»
Сибирского государственного университета путей сообщения (СГУПС), Новосибирск, Россия

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАПОЛНЕНИЯ ПУТИ СОРТИРОВОЧНОГО ПАРКА

Konstantin Ilyich Kornienko, Lecturer, Operations Management Department,
Siberian Transport University (STU), Novosibirsk, Russia

Improvement of simulation modeling of classification tracks filling

Аннотация

Имитационное моделирование находит все большее применение при изучении влияния различных факторов на перерабатывающую способность сортировочной горки. В то же время разработанные имитационные модели заполнения пути сортировочного парка не учитывают движение вагонов назад после остановки, трогание вагонов, стоящих на путях, при соударении с ними следующего отцепа, погрешности аппаратуры, предназначенной для контроля скорости выхода отцепа в сортировочный парк и местоположения вагонов. В статье предлагается усовершенствованный алгоритм, учитывающий эти факторы. Результаты исследования могут быть использованы при оценке влияния элементов сортировочного комплекса на качество заполнения пути и перерабатывающую способность горки.

Ключевые слова: имитационное моделирование, сортировочный парк, сортировочная горка, качество заполнения путей, реверсное движение.

Summary

Simulation modeling is finding increasing use in studying the influence of various factors on the estimated capacity of humps. At the same time, the developed simulation models of filling the tracks of the classification yard do not take into account the reverse movement of cars after the stop, the movement of cars standing on the tracks, when the next cut of cars collides with them, the inaccuracy of equipment designed to control the output speed of the cut moving into the classification yard and the location of cars. The paper proposes an improved algorithm that takes into account these factors. The results of the study can be used to assess the impact of marshalling complex elements on the quality of filling the tracks and the estimated capacity of humps.

Keywords: simulation modeling, classification yard, hump, quality of filling the tracks, reverse movement.

DOI: 10.20291/1815-9400-2018-2-35-42

Одно из важнейших направлений развития холдинга «РЖД» предусматривает сокращение времени на доставку грузов. Сегодня большую часть этого времени занимает нахождение вагонов под накоплением [1], что связано с работой сортировочных комплексов. Как известно, сортировочный комплекс состоит из таких элементов, как надвижная часть, сортировочная горка и сортировочный парк. При этом расчет каждого элемента возможен только при учете его влияния на остальные элементы сортировочного комплекса.

В создании и совершенствовании горочных устройств и систем механизации и автоматизации, проектирования сортировочных горок значительный вклад внесли известные ученые и специалисты С. А. Бессоненко, В. И. Бобровский, С. В. Земблинов, В. И. Иванченко, С. В. Карасев, А. А. Климов, В. А. Кобзев, Ю. А. Кравцов, И. Н. Лябах, И. К. Модин, Ю. А. Муха, О. А. Назаров, В. Д. Никитин, И. А. Ольгейзер, В. Е. Павлов, В. Д. Прокинова, В. Д. Ратников, Б. А. Родимов, А. Г. Савицкий, В. С. Скабалланович, В. Н. Соколов, И. И. Страковский, Л. Б. Тишков, Х. Т. Туранов, Н. М. Фонарев, А. Н. Шабельников, В. П. Шейкин, В. И. Шелухин и др.

В частности, Х. Т. Турановым опубликовано несколько статей по расчету сортировочных горок, например [2–5], в которых рассматриваются вопросы движения отцепов по спускной части.

Поскольку в правилах и нормах проектирования [6, 7] расчет сортировочной горки ведется до точки сортировочного парка, расположенной в начале сортировочного пути, большое количество работ посвящено именно расчету надвигной и спускной части для выполнения условия докатывания отцепа до расчетной точки. Вследствие этого вопросы, имеющие отношение к сортировочному парку, до конца не изучены. Хотя именно в сортировочном парке соударение отцепов с повышенной скоростью приводит к повреждениям вагонов и коммерческим бракам, связанным со сдвигом груза или изломом стоек [8–10]. В результате увеличивается время накопления вагонов и соответственно время на доставку грузов. То есть без сокращения времени нахождения вагонов под накоплением невозможно ускорить доставку грузов.

В последние годы все более широкое применение при исследовании движения отцепа находит метод имитационного моделирования. Например, в [11] детально разбирается построение имитационной модели движения отцепа при роспуске. Сделанные в этой работе выводы до сих пор используются при изучении сортировочных комплексов.

Имитационным моделированием заполнения путей, в том числе путей сортировочного парка, занимался С. В. Карасев [12–14]. В имитационной модели процесса заполнения путей он учитывал перерабатываемый вагонопоток и отцепопоток*, а также температурный режим. При надвиге состава на горку рассчитывался маршрут движения и параметры каждого отцепа. В соответствии с местом остановки последнего отцепа определялись точка прицеливания и скорость выхода отцепа из парковой тормозной позиции. После выбора оптимальной скорости выхода отцепа рассчитывались параметры движения отцепа по спускной части горки. В зависимости от конструкции горба сортировочной горки делался вывод о высоком или низком качестве заполнения путей.

Последние исследования показывают, что при движении отцепа могут возникать ситуации, которые до сих пор не учитывались (откат вагонов назад, движение вагонов вследствие соударения с отцепом, случайный фактор определения расстояния до впереди стоящих вагонов и параметров скорости выхода отцепа с парковой тормозной позиции). Соответственно необходимо уточнение имитационной модели заполнения путей сортировочного парка, чему и посвящена настоящая статья.

Обобщенная схема предлагаемого алгоритма имитационного моделирования заполнения путей сортировочного парка представлена на рис. 1.

Имитационное моделирование выполняется по следующим принципам.

В имитационную модель вносятся начальные условия, такие как профиль пути, характеристика вагонопотока, отцепопотока, количество имитационных экспериментов и др. (блоки 1–3 на рис. 1).

После этого на основе введенных данных производится случайное моделирование параметров для текущего эксперимента (блок 4 на рис. 1). Также создаются массивы с характеристиками всех отцепов для текущего моделирования. Для каждого отцепа согласно вагонопотоку выбирается случайным образом масса. Затем на основании отцепопотока вагоны объединяются в отцепы. Основное удельное сопротивление каждого вагона определяется с помощью формулы (4.1) [6]. Расчет основного удельного сопротивления для отцепов, состоящих из нескольких вагонов, производится по формуле [15–17]

$$w_0^{\text{отц}} = \frac{\sum_{i=1}^n w_0^i \cdot m_i}{m_{\text{отц}}}, \quad (1)$$

где w_0^i и m_i — основное удельное сопротивление (Н/кН) и масса (т) i -го вагона в отцепе;

*Под отцепопотоком понимается вероятность появления отцепов разной длины и массы.

n — количество вагонов в отцепе, шт.;

$m_{\text{отц}}$ — масса отцепа, т.

Для первого отцепа на путь точкой прицеливания служат тормозные башмаки, расположенные за 50 м до изолирующего стыка в конце сортировочного пути, скорость отцепа в данной точке принимается равной нулю (блок 5 на рис. 1). После задания точки прицеливания и скорости подхода выполняется моделирование движения отцепа от точки прицеливания до парковой тормозной позиции для вычисления расчетной скорости выхода. Скорость выхода отцепа с тормозной позиции определяется для нормативного профиля. Расчетная скорость выхода не может быть меньше 1,5 км/ч и больше 4,5 м/с. Нижняя граница обусловлена тем, что радиолокационный индикатор РИС-ВЗМ не измеряет скорость менее 1,5 км/ч [18, 19]. Максимальная скорость прохода отцепа по парковой тормозной позиции задана правилами и нормами проектирования [6]. Фактическая скорость выхода отцепа также задается случайным значением с нормальным распределением и математическим ожиданием, равным расчетной скорости выхода. Дисперсия рассчитывается исходя из абсолютной и относительной погрешности:

$$v_{\text{вых}}^{\text{факт}} = v_{\text{вых}}^{\text{расч}} \pm 2\% \pm 0,54, \quad (2)$$

где $v_{\text{вых}}^{\text{факт}}$ и $v_{\text{вых}}^{\text{расч}}$ — фактическая и расчетная скорость выхода отцепа, км/ч;

$\pm 2\%$ — относительная погрешность работы измерителя скорости (РИС-ВЗМ);

$\pm 0,54$ — абсолютная погрешность работы устройств прицельного торможения вагонов, км/ч.

После расчета всех начальных параметров выполняется моделирование движения отцепа вперед [5, 20] путем расчета скорости отцепа на элементарном перемещении (1 м) по известной формуле

$$v_{\text{кон}} = \sqrt{v_{\text{нач}}^2 + 2 \cdot g' \cdot l \cdot (i - w)}, \quad (3)$$

где $v_{\text{кон}}$ — скорость отцепа в конечной точке, м/с;

$v_{\text{нач}}$ — начальная скорость движения отцепа, м/с;

g' — ускорение силы тяжести с учетом инерции вращающихся частей, м/с²;

l — расстояние, которое проехал отцеп, 1 м;

i — уклон участка, по которому движется отцеп, ‰;

w — суммарное удельное сопротивление движению отцепа, Н/кН.

Уклон участка на элементарном перемещении определяется с помощью формулы эквивалентного уклона [11] (рис. 2)

$$i_{\text{эКВ}} = \sum_{j=1}^n \left(q_j \cdot \frac{b_j}{k = a_j} i_k \right), \quad (4)$$

где n — число вагонов в отцепе;

q_j — удельная нагрузка на ось j -го вагона,

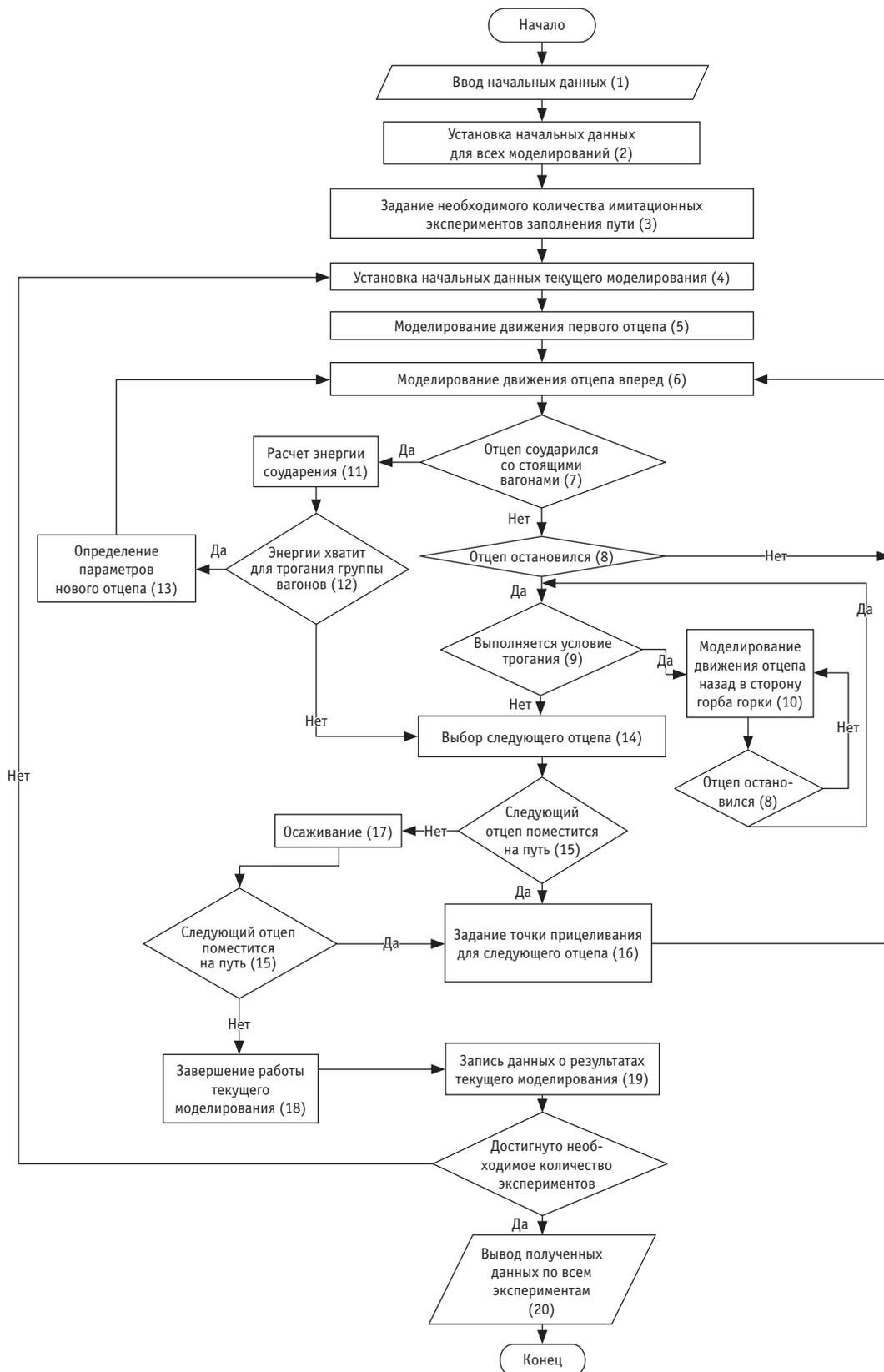


Рис. 1. Обобщенная схема предлагаемого алгоритма имитационного моделирования заполнения путей сортировочного парка

$$q_j = \frac{m_j}{\mu_j \cdot m_{\text{отц}}},$$

μ_j — число осей j -го вагона;

a_j — номер первой оси j -го вагона в общем массиве осей,

$$a_j = 1 + b - \mu_j;$$

b_j — номер последней оси j -го вагона в общем массиве осей,

$$b_j = \sum_{c=1}^j \mu_c;$$

μ_c — число осей c -го вагона;

i_k — действительный уклон, по которому движется k -я ось отцепа на перемещении ΔS (1 м), ‰,

$$i_k = \frac{i_{\text{нач}} + i_{\text{кон}}}{2}.$$

Массив со значениями действительных уклонов для 4-вагонного отцепа

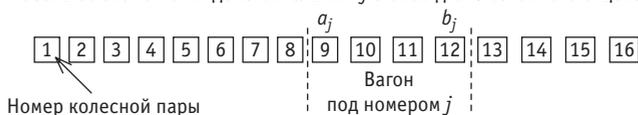


Рис. 2. Пояснение к формуле (4)

С целью проверки расчетные значения для одного моделирования сравниваются с реальной скоростью движения отцепа, измеренной аппаратурой контроля (рис. 3).

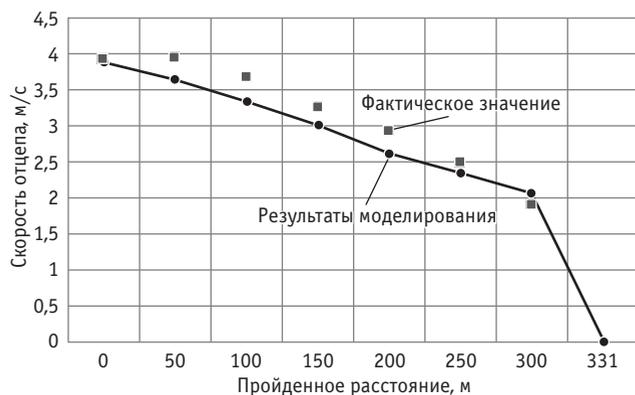


Рис. 3. Сравнение результата моделирования с реальной скоростью движения отцепа

Моделирование производится до соударения с впереди стоящими вагонами (блок 7 на рис. 1) или до остановки (блок 8 на рис. 1). В случае остановки отцепа осуществляется проверка условия трогания [9]:

$$i_{\text{ук}} \geq w + w_{\text{тр}}, \quad (5)$$

где $i_{\text{ук}}$ — уклон участка, на котором остановился отцеп;
 $w_{\text{тр}}$ — сопротивление троганию отцепа с места.

Если выполняется условие трогания отцепа, то начинают моделирование движения отцепа назад в сторону горба горки. При этом вводят дополнительные коэффициенты для направления ветра и профиля пути. Такое моделирование производится до тех пор, пока скорость отцепа не станет равной нулю (блок 8 на рис. 1). После этого переходят к блоку 9 и снова проверяют выполнение условия трогания отцепа.

В случае если отцеп соударяется с вагонами, вычисляется возможность начала движения группы вагонов. Такая возможность проверяется в соответствии с законом сохранения энергии по формуле

$$E_{\text{нач}} = E_{\text{кон}} + \Delta E, \quad (6)$$

где $E_{\text{нач}}$ и $E_{\text{кон}}$ — соответственно начальная и конечная энергии системы, кН;

ΔE — потери энергии, кН*.

Начальная энергия системы — это кинетическая энергия движущегося отцепа:

$$E_{\text{нач}} = \frac{m_{\text{отц}} \cdot v_{\text{соуд}}^2}{2}, \quad (7)$$

где $v_{\text{соуд}}$ — скорость соударения отцепа со стоящими вагонами, м/с.

Потери энергии состоят из потерь при соударении и потерь при трогании группы вагонов с места. Потери энергии при соударении для условия, что группа вагонов стояла на пути, можно найти согласно теореме Карно по формуле [21]

$$E_{\text{соуд}} = \frac{m_{\text{ваг}}}{m_{\text{ваг}} + m_{\text{отц}}} \cdot E_{\text{нач}}. \quad (8)$$

Энергию трогания можно представить как работу внешних сил на единичном перемещении:

$$E_{\text{трог}} = K_{\text{трог}} \cdot m_{\text{ваг}} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{28 \cdot m_i}{(q_i + 7) \cdot m_{\text{ваг}}} \right) \cdot 1 \text{ м}, \quad (9)$$

где $K_{\text{трог}}$ — коэффициент, применяемый в зависимости от количества вагонов (1 вагон — 1,8; 2 вагона — 1,6; 3 вагона — 1,4; 4 вагона — 1,3; 5 вагонов — 1,2; 6 вагонов — 1,1; более 6 вагонов — 1).

Соответственно формула (6) примет вид

$$E_{\text{кон}} = E_{\text{нач}} - E_{\text{соуд}} - E_{\text{трог}}. \quad (10)$$

В случае если энергии хватит, то количество вагонов в отцепа увеличивается на количество стоящих вагонов. Рассчитываются параметры нового отцепа. И после расчета всех параметров происходит переход к блоку 6 и дальнейшее моделирование движения отцепа до его полной остановки.

Точка прицеливания всех последующих на данный путь отцепов вычисляется исходя из свободы сортировочного

*Здесь и в дальнейших расчетах единицы измерения энергии — кН, так как масса отцепа задана в т.

пути. В настоящее время для определения свободы пути используется аппаратура КЗП-ИЗД. У данной аппаратуры есть погрешность в определении местоположения последней колесной пары стоящих вагонов. Соответственно точка прицеливания выбирается как случайное значение с нормальным законом распределения. Математическое ожидание равно фактическому расстоянию до впереди расположенных вагонов. Дисперсия — погрешность работы измерителя.

Согласно технической документации [22], расстояние до стоящих вагонов можно рассчитать по следующей формуле:

$$S = \begin{cases} S_{\text{факт}} \pm 15 \text{ (м)} & \text{при } S_{\text{факт}} \leq 200; \\ S_{\text{факт}} \pm 7,5\% & \text{при } 200 < S_{\text{факт}} < 500; \\ S_{\text{факт}} \pm 10\% & \text{при } S_{\text{факт}} \geq 500, \end{cases} \quad (11)$$

где $S_{\text{факт}}$ — фактическое расстояние до впереди расположенных вагонов, м.

Данные о каждом моделировании записываются в таблицы. После проведения необходимого количества экспериментов информация анализируется и выдается пользователю в виде статистики.

По представленному алгоритму разработана «Программа для имитационного моделирования процесса заполнения путей сортировочного парка «СортПарк 2» [23].

В табл. 1 приведены результаты моделирования заполнения пути длиной 1000 м, имеющего нормативный профиль, при существующем и предлагаемом алгоритме моделирования. На рис. 4 представлена зависимость качества заполнения пути от скорости подхода отцепки к стоящим вагонам.

Анализ данных табл. 1 и рис. 4 позволяет сделать следующие выводы:

поскольку в предлагаемом алгоритме учитывается погрешность устройств контроля местоположения вагонов и устройств определения скорости отцепки, вероятность соударения и недоката при разных скоростях подхода изменяется;

скорость подхода оказывает сильное влияние на качество заполнения путей;

в отличие от существующего алгоритма в предлагаемой модели учитывается, что при увеличении расчетной скорости подхода вероятность недоката уменьшается, в то же время вероятность соударения с повышенной скоростью возрастает;

вследствие того что при соударении некоторых родов грузов может произойти их сдвиг, для моделирования процесса заполнения пути необходимо принимать скорость подхода 0,75 м/с.

В табл. 2 приведено сравнение результатов имитационного моделирования фактического профиля [5], полученных при использовании существующего и предлагаемого алгоритма.

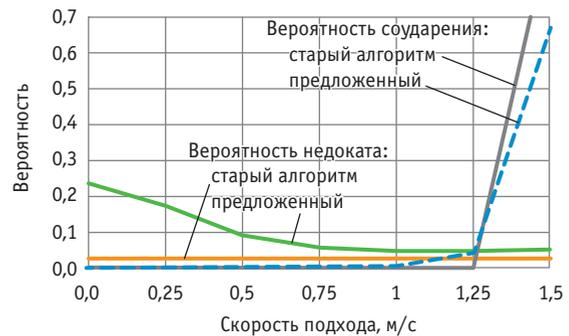


Рис. 4. График зависимости вероятностей соударения и недоката от скорости подхода для существующего и предлагаемого алгоритма

Таблица 1

Сравнение качества заполнения пути для разных скоростей подхода

Параметр	Скорость подхода, м/с						
	0	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5
Вероятность недоката	0,028 0,236	0,028 0,174	0,028 0,093	0,028 0,059	0,027 0,050	0,027 0,050	0,028 0,051
Вероятность соударения с повышенной скоростью	0,000 0,001	0,000 0,001	0,000 0,001	0,000 0,002	0,000 0,005	0,000 0,042	0,939 0,667
Средний коэффициент качества заполнения пути	0,808 0,738	0,808 0,783	0,808 0,847	0,808 0,862	0,811 0,866	0,811 0,872	0,809 0,875

Примечание: в числителе — данные, полученные при использовании существующего, в знаменателе — предлагаемого алгоритма моделирования.

Таблица 2

Результаты моделирования для фактического профиля

Параметр	Существующий алгоритм (фактический профиль)	Предлагаемый алгоритм	
		Нормативный профиль	Фактический профиль
Вероятность недоката	0,043	0,063	0,034
Вероятность соударения	0,369	0,001	0,417
Средний коэффициент качества заполнения пути	0,842	0,808	0,788

На рис. 5 представлена функция распределения вероятности соударения отцепов для предложенного алгоритма, на рис. 6 приведены графики плотности функций распределения вероятности соударения отцепов для предложенного и существующего алгоритмов.

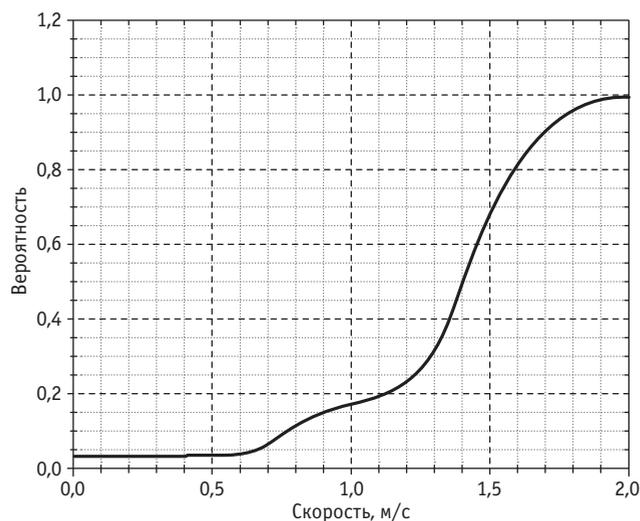


Рис. 5. График распределения вероятности скорости соударения отцепов

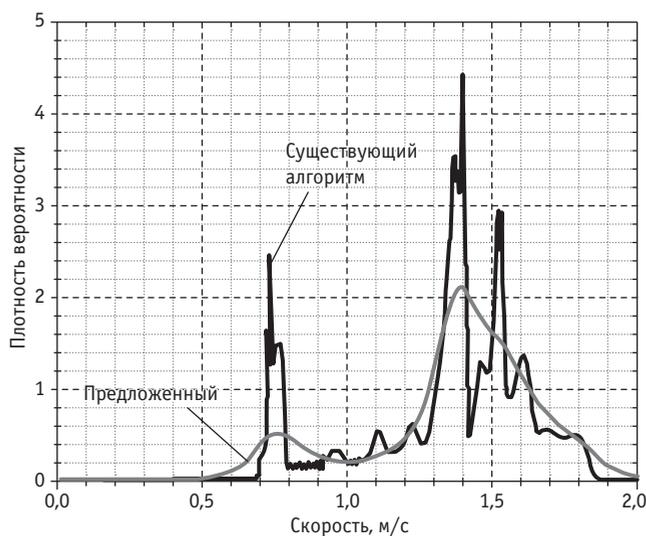


Рис. 6. График плотности распределения вероятности скорости соударения отцепов

На основе табл. 2, рис. 5 и 6 можно сделать следующие выводы:

профиль оказывает сильное влияние на качество заполнения пути;

изменение профиля, а именно его проседание, ведет к увеличению вероятности соударения вагонов с повышенной скоростью;

из рис. 5 следует, что большее количество отцепов соударится со скоростью более 0,5 м/с. Данное распределение начинается не из нуля, так как существует вероятность недоката отцепов. Первое значение с нулевой скоростью отражает данную вероятность. При исследовании этого фактора выявлено, что вероятность недоката в основном связана с тем, что первые отцепы после остановки начинают движение назад в сторону горба горки;

из рис. 6 следует, что плотности распределения вероятности существующего и предложенного алгоритма значительно отличаются;

средний коэффициент качества заполнения пути на фактическом профиле ниже, чем на нормативном. Это связано с тем, что более чем на 200 м пути допустимый уровень противуклона превышен [24].

ВЫВОДЫ

1. Существующие алгоритмы имитационного моделирования заполнения пути сортировочного парка не учитывают некоторые ситуации, такие как трогание вагонов с места после остановки, проталкивание вагонов вследствие удара в них отцепов, погрешность работы аппаратуры определения скорости.

2. Предложенный в статье усовершенствованный алгоритм имитационного моделирования заполнения путей сортировочного парка позволяет:

учитывать возможность трогания отцепов с места после остановки на противуклоне;

рассчитывать точку полной остановки отцепов и случайный характер точки прицеливания следующего отцепов;

учитывать погрешность работы устройств контроля скорости выпуска отцепов на путь и работы замедлителя;

рассчитывать возможность трогания отцепов при соударении с ним следующего отцепов, а также выделившуюся при соударении энергию.

3. На основании предложенного алгоритма выполнено моделирование заполнения пути при разной скорости подхода. Установлено, что чем выше скорость подхода, тем меньше вероятность образования «окна», а следовательно, выше качество заполнения пути, но также выше и вероятность соударения с повышенной скоростью. Данный фактор не учитывался в существующих алгоритмах.

4. Изучение реальных профилей показывает, что из-за их изменения на большинстве путей сортировочных парков вероятности соударений и недоката не совпадают с соответствующими вероятностями, вычисленными для нормативного профиля.

Исследование выполнено при поддержке правительства Новосибирской области.

Литература

1. Казанцева Л. С., Югрин О. П. Нормирование сроков доставки грузов и технология перевозочного процесса // Бюллетень транспортной информации. 2015. № 6 (240). С. 29–33. ISSN 2072–8115.
2. Туранов Х. Т., Гордиенко А. А. Исследование движения вагона в стрелочной зоне сортировочной горки при умеренных климатических условиях // Транспорт Урала. 2016. № 4 (51). С. 13–17. DOI: 10.20291/1815-9400-2016-4-13-17. ISSN 1815–9400.
3. Туранов Х. Т., Гордиенко А. А., Бугров Я. А. Результаты вычислений времени движения и скорости вагона на первом скоростном участке сортировочной горки при воздействии встречного ветра с учетом сопротивлений среды // Вестник УрГУПС. 2016. № 3 (31). С. 29–38. DOI: 10.20291/2079-0392-2016-3-29-38. ISSN 2079–0392.
4. Туранов Х. Т., Гордиенко А. А. Расчет времени движения и скорости скатывания вагона на втором скоростном участке сортировочной горки при воздействии встречного ветра малой величины // Транспорт: наука, техника, управление. 2016. № 7. С. 38–43. ISSN 0236–1914.
5. Туранов Х. Т., Гордиенко А. А. Пример расчета времени, скорости и пути торможения вагона на участке второй тормозной позиции сортировочной горки при воздействии встречного ветра малой величины // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2016. Т. 75. № 2. С. 123–128. ISSN 2223–9731.
6. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах колеи 1520 мм. М. : Техинформ, 2003. 168 с.
7. Пособие по применению правил и норм проектирования сортировочных устройств / Ю. А. Муха, Л. Б. Тишков, В. П. Шейкин и др. М. : Транспорт, 1994. 220 с.
8. Исследование влияния профиля горки на скорость движения отцепов в сортировочном парке при попутном ветре / Е. А. Ахмаев, С. А. Бессоненко, В. В. Борисов, К. И. Корниенко // Вестник СГУПС. 2017. № 1 (40). С. 13–18. ISSN 1815–9265.
9. Исследование движения отцепа в сортировочном парке / Е. А. Ахмаев, С. А. Бессоненко, В. В. Борисов, К. И. Корниенко // Транспорт Урала. 2017. № 4 (55). С. 49–53. DOI: 10.20291/1815-9400-2017-4-49-53. ISSN 1815–9400.
10. Соколов В. Н. Комплексная автоматизация управления сортировочным процессом // Автоматика, связь, информатика. 2011. № 2. С. 8–9. ISSN 0005–2329.
11. Муха Ю. А., Бобровский В. И. Алгоритмы и библиотека программ для моделирования на ЭВМ «Наири-К» сортировочного процесса на горках // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях : тр. ДИИТ. 1977. Вып. 194/11. С. 53–102.
12. Карасев С. В. Влияние конструкции горки, структуры вагонотока и внешней среды на качество заполнения путей сортировочного парка : дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2003. 203 с.
13. Жуков В. И., Карасев С. В., Куценко О. В. Имитация процесса заполнения пути накопления вагонов в сортировочном парке // Совершенствование эксплуатационной работы железных дорог. Новосибирск, 2002. С. 119–129.

References

1. Kazantseva L. S., Yugrina O. P. Rationing of freight delivery time and technology of railway transportation [Normirovanie srokov dostavki грузов i tekhnologiya perevoznogo protsessa] // Bulletin of Transport Information. 2015. No. 6 (240). Pp. 29–33. ISSN 2072–8115.
2. Turanov Kh. T., Gordienko A. A. Research of railway car movement in the points area of the hump in moderate climatic conditions [Issledovanie dvizheniya vagona v strelochnoy zone sortirovochnoy gorki pri umerennykh klimaticheskikh usloviyakh] // Transport of the Urals. 2016. No. 4 (51). Pp. 13–17. DOI: 10.20291/1815-9400-2016-4-13-17. ISSN 1815–9400.
3. Turanov Kh. T., Gordienko A. A., Bugrov Ya. A. Calculation results in respect of movement time and railcar speed at first speed section of hump under dead wind influence taking into account resistance of ambient environment [Rezultaty vychisleniy vremeni dvizheniya i skorosti vagona na pervom skorostnom uchastke sortirovochnoy gorki pri vozdeystvii vstrechnogo vetra s uchetom soprotivleniy sredy] // Herald of USURT. 2016. No. 3 (31). Pp. 29–38. DOI: 10.20291/2079-0392-2016-3-29-38. ISSN 2079–0392.
4. Turanov Kh. T., Gordienko A. A. The calculation of the movement and speed of rolling the second car on fast lane a hump under the influence of head wind small size [Raschet vremeni dvizheniya i skorosti skatyvaniya vagona na vtrom skorostnom uchastke sortirovochnoy gorki pri vozdeystvii vstrechnogo vetra maloy velichiny] // Transport: science, equipment, management. 2016. No. 7. Pp. 38–43. ISSN 0236–1914.
5. Turanov Kh. T., Gordienko A. A. An example of calculating time, speed and brake way of the car on the site of the second braking position at the hump yard under the influence of small crosswinds [Primer rascheta vremeni, skorosti i puti tormozheniya vagona na uchastke vtroy tormoznoy pozitsii sortirovochnoy gorki pri vozdeystvii vstrechnogo vetra maloy velichiny] // Vestnik of the Railway Research Institute. 2016. Vol. 75. No. 2. Pp. 123–128. ISSN 2223–9731.
6. Rules and regulations for design of sorting devices on 1520 mm railways tracks [Pravila i normy proektirovaniya sortirovochnykh ustroystv na zheleznykh dorogakh kolei 1520 mm]. M. : Tekhinform, 2003. 168 p.
7. Manual on the application of rules and norms for the design of sorting devices [Posobie po primeneniyu pravil i norm proektirovaniya sortirovochnykh ustroystv] / Yu. A. Mukha, L. B. Tishkov, V. P. Sheykin, et al. M. : Transport, 1994. 220 p.
8. The impact of the falling gradient of classification tracks on the car speed under favoring wind [Issledovanie vliyaniya profilya gorki na skorost' dvizheniya ottsepov v sortirovochnom parke pri poputnom vetre] / E. A. Akhmaev, S. A. Bessonenko, V. V. Borisov, K. I. Kornienko // The Siberian Transport University Bulletin. 2017. No. 1 (40). Pp. 13–18. ISSN 1815–9265.
9. Investigation of car movement in a sorting park [Issledovanie dvizheniya otsepa v sortirovochnom parke] / E. A. Akhmaev, S. A. Bessonenko, V. V. Borisov, K. I. Kornienko // Transport of the Urals. 2017. No. 4 (55). Pp. 49–53. DOI: 10.20291/1815-9400-2017-4-49-53. ISSN 1815–9400.
10. Sokolov V. N. Comprehensive automation of the marshalling process controlling [Kompleksnaya avtomatizatsiya upravleniya sortirovochnym protsessom] // Automation, communication and informatics. 2011. No. 2. Pp. 8–9. ISSN 0005–2329.
11. Mukha Yu. A., Bobrovskiy V. I. Algorithms and software library for computer simulation of «Nairi-K» screening process on a rolling coaster [Algoritmy i biblioteka programm dlya modelirovaniya na EVM «Nairi-K» sortirovochnogo protsessa na gorkakh] // Mechanization and automation of the sorting process at the stations : proceedings of DIET. 1977. Issue 194/11. Pp. 53–102.
12. Karasev S. V. Influence of hump construction, car traffic formation and the external environment on the quality of filling the tracks of the classification yard [Vliyaniye konstruktсии gorki, struktury vagonopotoka i vneshney sredy na kachestvo zapolneniya putey sortirovochnogo parka] : Ph D in Engineering Thesis. Novosibirsk, 2003. 203 p.
13. Zhukov V. I., Karasev S. V., Kutsenko O. V. Simulation of the process of filling the way of accumulation of cars in the sorting park [Imitatsiya protsessa zapolneniya puti nakopleniya vagonov v sortirovochnom parke] // Improvement of the railway operation. Novosibirsk, 2002. Pp. 119–129.

14. Карасев С. В. Исследование совместного влияния высоты сортировочной горки, структуры состава и ветровых условий на заполнение пути накопления вагонов в сортировочном парке : матер. науч.-техн. конф. «Наука и молодежь XXI века». Новосибирск, 2002. С. 8–11.
15. Правила тяговых расчетов для поездной работы. М. : Транспорт, 1985. 287 с.
16. Кузьмич В. Д., Руднев В. С., Френкель С. Я. Теория локомотивной тяги : учеб. для вузов ж.-д. трансп. М. : Маршрут, 2005. 448 с.
17. Бабичков А. М., Гурский П. А., Новиков А. П. Тяга поездов и тяговые расчеты : учеб. для вузов ж.-д. трансп. М. : Транспорт, 1971. 280 с.
18. Шелухин В. И. Автоматизация и механизация сортировочных горок : учеб. для техникумов и колледжей ж.-д. трансп. М. : Маршрут, 2005.
19. Козаченко Д. Н., Гревцов С. В., Болвановская Т. В. Исследование влияния технического состояния тормозных замедлителей на перерабатывающую способность сортировочных горок // Наука та прогрес транспорту. 2016. № 4 (64). С. 37–46. ISSN 2307–3489.
20. Корниенко К. И. Алгоритм расчета точки остановки отцепы в сортировочном парке // Транспорт: наука, техника, управление. 2017. № 11. С. 36–40. ISSN 0236–1914.
21. Осипов Д. В. К вопросу определения продольных динамических нагрузок, действующих на отцепы при соударениях на сортировочных горках // Транспортная инфраструктура Сибирского региона : матер. Девятой Междунар. науч.-практ. конф. Иркутск : ИргУПС, 2018. Т. 1. С. 107–112.
22. Технические решения 410727-ТР. Стыковка устройства контроля заполнения путей с повышенной длиной контролируемого участка с комплексной системой автоматизации управления сортировочным процессом. М. : Гипротрансигнальсвязь, 2007. 15 с.
23. Программа для имитационного моделирования заполнения пути сортировочного парка «СортПарк 2» / К. И. Корниенко : свидетельство о регистрации электронного ресурса № 23610 от 15.05.2018.
24. Корниенко К. И. Влияние противоуклона на качество заполнения путей в сортировочном парке // Транспортная инфраструктура Сибирского региона : матер. Девятой Междунар. науч.-практ. конф. Иркутск : ИргУПС, 2018. Т. 1. С. 78–82.
14. Karasev S. V. Research of the joint influence of the hump height, car composition and wind conditions of filling the track in the classification yard [Issledovanie sovmestnogo vliyaniya vysoty sortirovochnoy gorki, struktury sostava i vetrovykh usloviy na zapolnenie puti nakopleniya vagonov v sortirovochnom parke] : materials of scientific and technical conference «Science and youth of the XXI century». Novosibirsk, 2002. Pp. 8–11.
15. Rules of traction calculations for train operation [Pravila tyagovykh raschetov dlya poezdnoy raboty]. M. : Transport, 1985. 287 p.
16. Kuz'mich V. D., Rudnev V. S., Frenkel' S. Ya. Theory of locomotive traction [Teoriya lokomotivnoy tyagi] : textbook for railway universities. M. : Marshrut, 2005. 448 p.
17. Babichkov A. M., Gurskiy P. A., Novikov A. P. Train traction and traction calculations [Tyaga poezdov i tyagovye raschety] : textbook for railway universities. M. : Transport, 1971. 280 p.
18. Shelukhin V. I. Automation and mechanization of humps [Avtomatizatsiya i mekhanizatsiya sortirovochnykh gorok] : textbook for railway colleges. M. : Marshrut, 2005.
19. Kozachenko D. M., Grevtsov S. V., Bolvanovskaya T. V. Study of technical state impact of brake retarders at the processing ability of humps [Issledovanie vliyaniya tekhnicheskogo sostoyaniya tormoznykh zamedlitley na pererabatyvayushuyu sposobnost' sortirovochnykh gorok] // Science and Transport Progress. 2016. No. 4 (64). Pp. 37–46. ISSN 2307–3489.
20. Kornienko K. I. Algorithm of calculating the stop point of the cut in the classification yard [Algoritm rascheta tochki ostanovki ottsepa v sortirovochnom parke] // Transport: science, equipment, management. 2017. No. 11. Pp. 36–40. ISSN 0236–1914.
21. Osipov D. V. On the determination of longitudinal dynamic loads affecting the cuts when they collide on humps [K voprosu opredeleniya prodol'nykh dinamicheskikh nagruzok, deystviyushhikh na ottsepy pri soudareniyakh na sortirovochnykh gorkakh] // Transport infrastructure of the Siberian Region : materials of the 9th International scientific and practical conference. Irkutsk : ISTU, 2018. Vol. 1. Pp. 107–112.
22. Technical solutions 410727. Docking of the track filling control device with the increased length of the controlled section with the complex system of automating the control of shunting process [Tehnicheskie resheniya 410727-TR. Stykovka ustroystva kontrolya zapolneniya putey s povyshennoy dlinoy kontroliruemogo uchastka s kompleksnoy sistemoy avtomatizatsii upravleniya sortirovochnym protsessom]. M. : Giprottransignalsvyaz', 2007. 15 p.
23. The program for simulating the track filling in the sorting park «SortPark 2» [Programma dlya imitatsionnogo modelirovaniya zapolneniya puti sortirovochnogo parka «SortPark 2»] / K. I. Kornienko : registration certificate of the electronic resource No. 23610 dated 15.05.2018.
24. Kornienko K. I. Influence of opposite elevation on quality of filling the tracks in classification yard [Vliyanie protivouklona na kachestvo zapolneniya putey v sortirovochnom parke] // Transport infrastructure of the Siberian Region : materials of the 9th International scientific and practical conference. Irkutsk : ISTU, 2018. Vol. 1. Pp. 78–82.

Объем статьи 0,95 авторских листа

УДК 625.11

Геннадий Львович Аккерман, доктор технических наук, профессор кафедры «Путь и железнодорожное строительство» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, Россия,

Сергей Геннадьевич Аккерман, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Путь и железнодорожное строительство» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, Россия

ОСОБЕННОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ПРИПОЛЯРНЫХ ОБЛАСТЕЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Gennadiy L'vovich Akkerman, DSc in Engineering, Professor, Railway Construction and Railway Track Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg, Russia,

Sergey Gennadyevich Akkerman, PhD in Engineering, Associate Professor, Head of Railway Construction and Railway Track Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg, Russia

Peculiarities of railway transport systems for the circumpolar regions of the Russian Federation

Аннотация

В статье обосновывается актуальность транспортного освоения приполярных областей России. Показаны особенности региона, которые необходимо учитывать при строительстве и эксплуатации железных дорог.

Ключевые слова: приполярные области России, железная дорога, транспортные коридоры, газогенераторные установки, «нетающий лед» — серобетон.

Summary

The paper substantiates the relevance of the transport development of the circumpolar regions of Russia. The peculiarities of the region that should be taken into account in construction and railway operation are shown.

Keywords: the circumpolar regions of Russia, railway, transport corridors, gas-producer plants, «nonmelting ice» — sulfur concrete.

DOI: 10.20291/1815-9400-2018-2-43-46

Приполярные области России — это районы, расположенные севернее полярного круга и омываемые морями Северного Ледовитого океана. Для них характерен суровый климат: короткое холодное лето ($t_{cp} = 0-1$ °C), низкие зимние температуры (минус 30–45 °C), полярный день летом и полярная ночь зимой, вечная мерзлота (примерно 0,70 % территории России находится в зоне распространения вечной мерзлоты). Поскольку этот регион малопригоден для людей, плотность населения небольшая, например, для полуострова Таймыр, занимающего площадь 904,6 тыс. км², где проживает 40 тыс. чел., она составляет 23 км²/чел.

Рельеф неоднороден: равнины пересекаются горами. Так, полуостров Таймыр перерезан хребтом Бырранга с наивысшей отметкой 1146 м.

Практически повсеместно в этих районах найдены полиметаллы, нефть, газ, каменный уголь и другие полезные ископаемые. Только на Таймыре запасы угля оцениваются в 96 млрд т.

Исключая Мурманскую и Архангельскую области как наиболее освоенные, к Арктической зоне можно отнести Ненецкий, Ямало-Ненецкий, Долгано-Ненецкий (на Таймыре) округа, Республику Саха (Якутия) и Чукотку.

Для России приполярные зоны важны с точки зрения: природных богатств;

обороноспособности (создание пунктов дислокации полярных армейских частей);

создания транспортных коридоров Юг — Север, Восток — Запад (Северный морской путь).

Для освоения и развития этого региона нужна надежная всепогодная транспортная сеть. Ее основа, без сомнения, — Северный морской путь, но его опорные точки (базы) должны быть связаны с Большой землей круглогодично действующей транспортной сетью. Как показали наши исследования [1], в наибольшей степени этому условию для приполярных областей отвечают железные дороги.

Рассмотрим факторы, которые необходимо учитывать при проектировании и строительстве железных дорог на Севере.

1. Отсутствие специальных технических условий. Особенности среды и эксплуатации требуют создания, возможно для каждой проектируемой железной дороги, специальных технических условий (СТУ). Например, СТУ для ВСМ Москва — Казань — Екатеринбург. Для каждого объекта исходя из требований жизненного цикла могут быть разработаны СТУ с учетом соблюдения условий безопасности.

2. Суровый климат, вечная мерзлота, требования экологии, частое отсутствие грунта для отсыпки земляного полотна. Все эти факторы требуют новой инфраструктуры и технологии строительства. Например, если в Якутии для сооружения земляного полотна можно использовать отвалы вскрышных пород, образующихся при разработке алмазных трубок, то на Таймыре такие запасы отсутствуют.

3. Высокая стоимость строительства. Например, стоимость самой северной железной дороги в мире Обская — Бованенково — Карская (на Ямале), имеющей длину 572 км, составляет 130 млрд руб., т.е. 227 млн руб./км, а Северного широтного хода (СШХ) длиной 707 км — 334–404 млн руб./км [2, 3].

4. Обязательная многовариантность проектирования с использованием информационных технологий, что сокращает инвестиционно-строительный цикл на 30 % и позволяет перебрать миллионы вариантов [4].

Важно, что информационные технологии решают задачи краткосрочного и долгосрочного планирования, управления грузопотоками (поездами). Например, в развитие транспортной системы России до 2020 г. внедряется система ЭРА-ГЛОНАСС, позволяющая создать пилотную зону контроля, мониторинга и управления транспортными процессами на Крайнем Севере.

Следует подчеркнуть важность и значимость, особенно для северных районов, внедрения BIM-технологий (Building Information Modeling) в проектирование и строительство железных дорог [4]: за счет прозрачности этих технологий (точные расчеты стоимости) исключается коррупция. За рубежом, например, существует стандарт, обязывающий застройщика применять BIM-технологии, если объект строится на бюджетные деньги. Однако внедрение BIM-технологий сдерживается отсутствием базы данных: технических, технологических, сметных, эксплуатационных, экологических, юридических и др., привязанных к условиям Севера.

5. Этапность, обусловленная большой первоначальной стоимостью строительства. Например, при малых первоначальных грузопотоках по трассе будущей железной дороги возможна организация автомобильного движения [5, 6]. Сроки перехода с одного вида транспорта на другой устанавливаются на основе построения графиков овладения перевозками, для чего необходимо знать прогнозные потребные грузопотоки (рис. 1). Расчет перспективных грузопотоков упрощается, если дорога носит технологический характер (например, вывоз каменного угля к порту на Таймыре — в данном случае больше определенности в инвесторе и в его перспективных планах по разработке месторождений).

6. Нередко построенная железная дорога по преимуществу является технологической. То есть она способствует

обеспечению транспортных услуг и не всегда решает социальные проблемы по ликвидации транспортной дискриминации отдельных территорий и развитию предприятий в районе тяготения (хотя установить границы района тяготения в данном случае затруднительно, поскольку никаких других наземных путей сообщения зачастую нет, а значит, нет и границ зон их влияния).

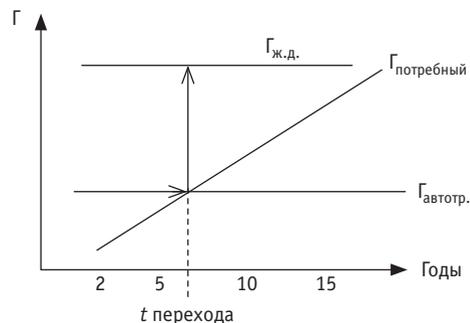


Рис. 1. График овладения грузовыми перевозками

Примером такой технологической железной дороги может служить Обская — Бованенково — Карская (далее планируется строительство железнодорожной линии Бованенково — Сабетта до Карского моря), построенная «Газпромом» для освоения нефтегазовых месторождений на Ямале. В последнее время «Газпром» пытается продать ее ОАО «РЖД», но принятие решения откладывается, так как срок окупаемости дороги — более 20 лет.

7. Мультиmodalность транспортной системы. Практически вся транспортная система приполярных областей мультиmodalна: в одной цепочке могут работать автомобильный, железнодорожный, иногда речной и морской транспорт. Причем смена одного вида транспорта другим возможна как во времени, так и в пространстве.

Суровые погодные условия (не всегда предсказуемые) могут нарушить ритм, а значит, и работу всей транспортной цепочки. Особенно это важно для транзита из других стран по коридорам Юг — Север (частью которого является Белкомур) и Восток — Запад. Доставка контейнеров из Урумчи до Нью-Йорка через Мурманск сокращает время в пути до 24–30 сут по сравнению с маршрутом через Суэцкий и Панамский каналы. В коридоре Юг — Север заинтересованы Индия, Иран, Азербайджан, Россия [6].

Чтобы избежать сбоев в мультиmodalной транспортной системе Севера, должны быть созданы мультиmodalные транспортно-логистические центры (МТЛЦ).

Сейчас в международном рейтинге Всемирного банка по развитию логистической инфраструктуры из 160 стран мира Российская Федерация занимает 90-е место. Логистические издержки в России в два раза превышают уровень ведущих стран Европы и составляют примерно 20 % от ВВП в год [5]. В некоторых районах Сибири и Севера стоимость логистических услуг в стоимости продукции достигает до 50 % [7].

Для нормальной работы мультиmodalного транспорта, особенно на Севере, важно использовать (внедрять) интел-

лектуальные транспортные системы (ИТС). ИТС — одно из направлений Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 г. [8]. В 2016 г. при Минтрансе России была образована рабочая группа по развитию беспилотных технологий в транспортном комплексе. Так как на железнодорожном транспорте траектория движения экипажа в пространстве (план, профиль) определена проектом, то на железных дорогах они, видимо, появятся быстрее, чем на других видах транспорта. Беспилотные технологии исключают труд человека, что очень важно для приполярных областей.

Применительно к железнодорожному транспорту рассматриваемая система называется ИСУЖТ — интеллектуальная система управления железнодорожным транспортом (на полигоне Октябрьской ж.д. внедряется с 2013 г.). ИСУЖТ позволяет комплексно автоматизировать управление перевозочным процессом и логистикой с учетом состояния инфраструктуры, подвижных единиц и безопасности движения.

Естественно, любое внедрение должно проверяться на экономическую эффективность.

8. Инвестиции. Строительство транспортных систем на Севере возможно за счет и частных инвесторов, и государственно-частного партнерства. Яркий пример этого — Северный широтный ход: впервые при железнодорожном строительстве будет использоваться концессия. СШХ, который входит во все стратегические документы по транспортному планированию, можно считать определяющим для развития Ямала и Северного морского пути [9]. Основной интересант (заинтересованное лицо) — ПАО «Газпром» (в перспективе). ПАО «НОВАТЭК», шведская RISE Capital собирались инвестировать в проект по продлению железной дороги Обская — Карская до Сабетты [10].

Государственно-частное партнерство может принимать разные формы. Например, для реализации проекта Белкомур была создана межрегиональная компания «Белкомур» — концессионер. Финансирование предусматривается за счет частных инвесторов, но транспортная инфраструктура принадлежит государству. На основании специального операторского соглашения ОАО «РЖД» принимает на себя организацию перевозок и сбор платы, часть которой идет концессионеру для покрытия его расходов, через 30 лет дорога может быть передана ОАО «РЖД». Для гарантии дохода инвестора с 2023 г. (срок окончания строительства) до 2034-го государство вкладывает 64,6 млрд руб. До 2048 г. благодаря увеличению грузопотока бюджет вернет эти 64,6 млрд руб. и получит сверх еще 180 млрд. Предполагается, что в связи с развитием новых производств в районе тяготения бюджеты всех уровней получат 1,2 трлн руб., т.е. за время эксплуатации региональный валовой продукт увеличится на 5,6 % [11].

Как уже было отмечено, при проектировании и строительстве железных дорог необходимо учитывать специфику региона. Так, что касается железной дороги на Таймыре, предназначенной для вывоза каменного угля к Карскому морю, помимо прочего следует:

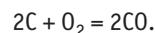
удешевить эксплуатационные расходы на тягу, так как дизельное топливо пока приходится ввозить на Таймыр;

решить проблему, где взять грунт для отсыпки земляного полотна и как сократить затраты на строительство.

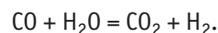
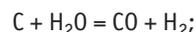
Чтобы снизить расходы на эксплуатацию, желательно заменить дизельное топливо на уголь. На угле может работать паровоз, но этих локомотивов почти не осталось: у них небольшой КПД, они неэкологичны (выбросы сажи и несгоревших частиц угля), кроме того, через 60–100 км им требуется забор воды. Однако, если на тепловоз поставить газогенераторную установку, он сможет работать на угле.

Следует отметить, что в 1930–1940-х гг. в Советском Союзе выпускались автомобили ГАЗ-42, ЗИС-21 и УралЗИС-352 с газогенераторными установками, а в Германии в 1941 г. было построено около 300 тыс. газогенераторных автомобилей. В качестве топлива применялись бурый каменный уголь и деревянные чурки. Основной недостаток этих машин заключается в том, что через 250–300 км требуется чистка зольника газогенератора.

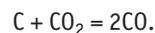
В газогенераторной установке при неполном сгорании топлива образуется горючий газ — оксид углерода CO:



В процессе участвует влага топлива и подведенная вода:



Углекислый газ CO₂, проходя через раскаленное топливо, образует 2CO:



Область, в которой протекают эти реакции, называется зоной восстановления газогенератора. Зона горения и зона восстановления — это активная зона газогенератора. В результате в активной зоне образуются горючие компоненты: CO (оксид углерода), H₂ (водород), CH₄ (метан), C_nH_m (непредельные углеводороды) и балласт — CO₂ (углекислый газ), H₂O (вода), O₂ (кислород), N₂ (азот), т.е. в выбросах нет вредных компонентов. Тепловоз с газогенераторной установкой можно назвать ТГГУ.

Так как полуостров Таймыр — это государственный природный заповедник, то при любом строительстве, в том числе железной дороги, любое нарушение рельефа, флоры, мерзлотных условий должно иметь серьезное экологическое и экономическое обоснование. Поэтому создание карьеров грунта для возведения земляного полотна должно сравниваться с альтернативными вариантами, например с подвозом вскрышных пород морем и далее автопоездами [12].

В связи с наличием вечной мерзлоты и почти круглогодичными низкими температурами воздуха упростить здесь строительство железной дороги возможно за счет применения беспыльного верхнего строения пути. Например, лабораторные испытания, проведенные кафедрой «Путь и железнодорожное строительство» УрГУПС в конце 1980-х гг., показали, что рельс без шпал, замороженный в лед (или в замороженный грунт), выдерживает статические нагрузки 12 т на колесо. Возможность пропуска вагонов с нагрузкой более 24 т/ось требует

дальнейшего исследования. По крайней мере, замороженный в лед рельсовый путь (рельсы вмораживались с одной стороны по головку, с другой — до головки) без шпал паровоз выдерживал без деформаций. В этих условиях возможно применение «нетающего льда» — серобетона или льдобетона (лед с включением песка, гравия или гальки). Конечно, такая конструкция требует дальнейших испытаний, но в случае положительного результата экономический эффект будет значительным (табл. 1): непропитанная шпала стоит 650 руб., пропитанная — приблизительно 1040 руб. (цена за 1 шпалу принята для Екатеринбурга, стоимость транспортировки на Таймыр не учтена).

Таблица 1

Экономия на 1 км бесшпального пути
 в зависимости от эпюры шпал при шпальном основании

Стоимость шпалы, руб.	Эпюра шпал, шпал/км			
	1440	1600	1840	2000
	Экономия, млн руб./км			
650	0,936	1,040	1,196	1,300
1040	1,498	1,664	1,914	2,080

Литература

1. Аккерман Г. Л. Теория и практика проектирования железных дорог с учетом воздействия окружающей среды : дис. ... д-ра техн. наук. Екатеринбург, 1992. 478 с.
2. Кудрявцева Е. Модель с вопросами // Гудок. 2017. 25 янв. С. 3.
3. О некоторых вопросах развития железнодорожной инфраструктуры Ямало-Ненецкого автономного округа : распоряжение Правительства Рос. Федерации от 22.02.2018 № 286-р.
4. Белюченко А. Внедрять цифровые технологии // Транспорт России. 2016. 14 авг. С. 4.
5. Кузина Н. Искусство компромисса // Гудок. 2015. 15 окт. С. 4.
6. Ларионова Т. Транзитное ускорение // Транспорт России. 2017. 15 янв. С. 3.
7. Ларионова Т. Вывести из штопора // Транспорт России. 2016. 24 июля. С. 3.
8. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года : утв. распоряжением Правительства Рос. Федерации от 17.06.2008 г. № 877-р // Собрание законодательства Российской Федерации. 21.07.2008. № 29. Ч. II. Ст. 3537.
9. Плетнев С. Дорога на Север // Гудок. 2017. 30 янв. С. 1.
10. Веревкина В. Дальше на Север // Гудок. 2015. 14 окт. С. 4.
11. Плетнев С. Дорога к Белому морю // Гудок. 2018. 1 марта. С. 3.
12. Сухопутная мультимодальная транспортная система приполярных областей России / Г. Л. Аккерман, П. И. Тарасов, С. Г. Аккерман и др. // Транспорт Урала. 2017. № 4 (55). С. 15–20. DOI: 10.20291/1815-9400-2017-4-15-20. ISSN 1815–9400.

Уместно привести и такой пример: в Страсбурге проводились показавшие положительный результат опыты по «заливке» рельсов без шпал полиэтилентерефталатом, полипропиленом и другими материалами (пластмассой, которая идет на изготовление бутылок и тары), правда, под трамвайные пути.

Поскольку на Таймыре лето продолжается около 6 недель, в этот период возможны положительные температуры воздуха. Для исключения таяния «ледяной призмы» ее следует покрыть меловым раствором, а головку рельса, кроме дорожки катания, покрасить белой краской, например.

В заключение необходимо отметить, что при транспортном освоении российских приполярных областей решаются геополитические, оборонные, экологические, экономические и социальные проблемы, которые должны выполняться не аврально, а постепенно. Подход должен быть комплексным, но с учетом конструктивных особенностей инфраструктуры и с правильной постановкой целей. Интеграция на транспорте осуществляется не столько для получения доходов, сколько для подъема экономики страны, а значит, и уровня жизни населения.

С 2015 г. разрабатывается государственная «Программа социально-экономического развития Арктической зоны» до 2020 г. Сейчас она продлена до 2025 г. Большое внимание в ней уделяется развитию инфраструктуры, что требует особого и зачастую нетипичного подхода.

References

1. Akkerman G. L. Theory and practice of designing of railways subject to the impact of the environment [Teoriya i praktika proektirovaniya zheleznnykh dorog s uchetom vozdeystviya okruzhayushhey sredy] : DSc in Engineering Thesis. Ekaterinburg, 1992. 478 p.
2. Kudryavtseva E. Model with questions [Model's voprosami] // Gudok. 2017. January, 25. P. 3.
3. About some issues of railway infrastructure development of the Yamalo-Nenets Autonomous District [O nekotorykh voprosakh razvitiya zheleznodorozhnoy infrastruktury Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga] : Order of the Government of the Russian Federation from 22.02.2018 No. 286-r.
4. Belyuchenko A. To implement the digital technologies [Vnedryat' tsifrovyye tekhnologii] // Transport of the Russia. 2016. August, 14. P. 4.
5. Kuzina N. The art of compromise [Iskusstvo kompromissa] // Gudok. 2015. October, 15. P. 4.
6. Larionova T. Transit acceleration [Tranzitnoe uskorenie] // Transport of the Russia. 2017. January, 15. P. 3.
7. Larionova T. To pull out of spin [Vyvesti iz shtopora] // Transport of the Russia. 2016. July, 24. P. 3.
8. Strategy for the development of railway transport in the Russian Federation until 2030 [Strategiya razvitiya zheleznodorozhnogo transporta v Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda] : approved by the Order of the Government of the Russian Federation of 17.06.2008 No. 877-r // Collection of Legislative Acts of the Russian Federation. 21.07.2008. No. 29. Part. II. Paper 3537.
9. Pletnev S. The road to the North [Doroga na Sever] // Gudok. 2017. January, 30. P. 1.
10. Verevkin V. Further to the North [Dal'she na Sever] // Gudok. 2015. October, 14. P. 4.
11. Pletnev S. The road to the White Sea [Doroga k Belomu moryu] // Gudok. 2018. March, 1. P. 3.
12. The land multimodal transport system of the circumpolar regions of Russia [Sukhoputnaya multimodal'naya transportnaya sistema pripolyarnykh oblastey Rossii] / G. L. Akkerman, P. I. Tarasov, S. G. Akkerman, et al. // Transport of the Urals. 2017. No. 4 (55). Pp. 15–20. DOI: 10.20291/1815-9400-2017-4-15-20. ISSN 1815–9400.

Объем статьи 0,5 авторских листа

УДК 629.4.027

Дмитрий Николаевич Салтыков, кандидат технических наук, ведущий инженер ООО «Инфотэкс», Екатеринбург, Россия,
Павел Игоревич Шалупина, аспирант кафедры «Вагоны» Уральского государственного университета
путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, Россия

О НЕОБХОДИМОСТИ СОЗДАНИЯ ИНФРАКРАСНЫХ НАПОЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ КОНТРОЛЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТОРМОЗОВ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ РОССИИ

Dmitriy Nikolayevich Saltykov, PhD in Engineering, Senior Engineer, LLC «Infotecs AT»,
Ekaterinburg, Russia,

Pavel Igorevich Shalupina, postgraduate student, Railway Cars Department,
Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg, Russia

About the necessity to create infrared wayside systems for controlling the operability of brakes on the Russian railways

Аннотация

Принцип работы колодочных тормозов подвижного состава железных дорог, несовершенство применяемых в парах трения материалов — наполнителей колодок и нарушения при работе с автотормозами в значительной степени влияют на появление у колес и колодок дефектов термомеханического характера. Одно из эффективных средств предупреждения возникновения неисправностей автотормозов железнодорожного подвижного состава — применение систем теплового контроля (СТК), позволяющих проводить диагностику элементов тормозного оборудования и оценку эффективности процесса колодочного торможения по нагреву заторможенных колес.

В статье рассмотрены теоретические основы работы, сделан обзор существующих отечественных и зарубежных образцов СТК ходовых частей, проанализирована их конструкция относительно ориентации ИК-оптики и определены дальнейшие направления создания информационного обеспечения для СТК.

Ключевые слова: тепловой контроль ходовых частей, температура, термомеханические повреждения, автотормоза.

Summary

The principle of the rolling stock shoe brakes operation, the imperfection of the materials used in the friction pairs — shoe filling materials — and violations in automatic brakes operation largely affect the appearance of thermomechanical damage on the wheels and shoes. One of the effective means of preventing the faults of the rolling stock automatic brakes is the use of thermal control systems (TCS), which allow to diagnose the elements of brake equipment and evaluate the effectiveness of the shoe braking process by heat of the braked wheels.

The paper describes the theoretical basis of the work, provides with an overview of existing domestic and foreign examples of carriers TCS, analyzes their design with respect to the orientation of the IR-optics and identifies further directions on the creation of information support for TCS.

Keywords: heat control of carriers, temperature, thermomechanical damage, automatic brakes.

DOI: 10.20291/1815-9400-2018-2-47-51

В настоящее время к числу основных инструментов управления скоростью движения подвижного состава железных дорог относятся колодочные тормоза. Принцип их работы остается неизменным с появления первых вагонов и по сей день — за счет фрикционного взаимодействия тормозных колодок и колес кинетическая энергия при движении вагона по рельсам преобразуется в тепловую. Колодочные тормоза модернизируются в плане конструкции тормозной рычажной передачи и применения высокотехнологичных материалов для изготовления колодок. Несмотря на это, решить проблему перегрева некоторых элементов тормозной системы с должным уровнем экономической эффективности на данный момент не представляется возможным.

Распространенные на российских железных дорогах композиционные колодки обладают рядом существенных недостатков. В частности, низкий коэффициент теплопроводности материала-наполнителя ведет к снижению эффективности отвода тепла из зоны трения и возрастанию количества термомеханических повреждений как колес, так и колодок. Существуют и другие виды колодок из более технологичных материалов (к примеру, из металлокерамики), но их использование на многочисленном нетяговом грузовом подвижном составе нецелесообразно с финансовой точки зрения, потому они применяются на некоторых тяговых единицах подвижного состава в экспериментальном порядке. Несмотря на достаточно высокий ресурс работы композиционных колодок (до 160 тыс. км) из-за низкой теплопроводности их материала-наполнителя значительно возрастает повреждаемость как самих колодок, так и колес подвижного состава. В результате сложного температурного и силового воздействия на колеса на поверхностях их катания образуются дефекты термомеханического характера — выщербины, навары и ползуны [1]. Если обратиться к классификатору неисправностей вагонных колесных пар и их

элементов [2], можно выделить следующие основные причины возникновения дефектов термомеханического характера: некачественная подготовка тормозного оборудования вагонов для следования в поезде;

нарушение порядка приемки тормозного оборудования при выдаче его из депо;

нарушение технологии опробования тормозов на станциях; нарушение машинистом правил управления тормозами поезда;

неправильные действия поездной и локомотивной бригад при нестандартной ситуации;

несоблюдение рекомендаций, исключающих повреждение колесных пар в неблагоприятных погодных условиях и загрязнение рельсов.

Таким образом, очевидно, что проблема возникновения термомеханических повреждений имеет комплексный характер: с одной стороны, в конструкции тормозных колодок используются материалы с недостаточным показателем теплопроводности, а с другой — происходят различные нарушения при эксплуатации автотормозов поездными бригадами. К числу наиболее эффективных средств предупреждения неисправностей автотормозов железнодорожного подвижного состава относится применение систем теплового контроля (СТК), позволяющих проводить диагностику элементов тормозного оборудования и оценку эффективности процесса колодочного торможения по нагреву заторможенных колес.

Работа СТК основана на явлении излучения: любое тело, температура которого выше абсолютного нуля ($-273,15\text{ }^\circ\text{C}$), излучает электромагнитные волны. При этом интенсивность и длина волны излучения зависят от температуры тела согласно уравнению Планка

$$u(\nu, T) = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \cdot \frac{h\nu}{e^{kT} - 1} \quad (1)$$

и закону смещения Вина

$$\lambda_{\max} T = \text{const}, \quad (2)$$

где T — температура в абсолютной шкале Кельвина, К;

k — постоянная Больцмана, Дж/К;

h — постоянная Планка, Дж·с;

ν — частота, Гц;

λ_{\max} — длина волны, соответствующая максимуму распределения длин волн теплового излучения, мкм;

c — скорость света в вакууме, м/с, а также от материала, из которого состоит излучающее тело.

При этом в видимый спектр излучение попадает при температурах свыше $500\text{ }^\circ\text{C}$. И если СТК буксовых узлов работают в среднем инфракрасном диапазоне (3–6 мкм), то для теплового контроля колес необходим более широкий диапазон. Это подтверждается многочисленными исследованиями, показавшими, что в отдельных случаях нагрев поверхности катания колеса при колодочном торможении достигает $630\text{--}650\text{ }^\circ\text{C}$ [3–5]. Причем разность температур обода колеса и его центра мо-

жет составлять до $300\text{ }^\circ\text{C}$, что неминуемо ведет к появлению пластических деформаций колеса [6]. Пример распределения температур нагрева элементов колес при различных режимах торможения поезда приведен на рис. 1 [5, 7, 8].

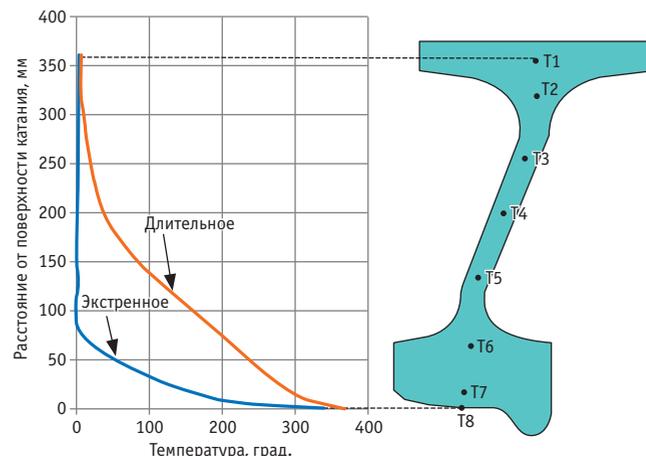


Рис. 1. Распределение температур нагрева элементов колес при различных режимах торможения поезда

В общем случае СТК (здесь имеется в виду непосредственно измерительная часть системы) состоит из компонентов, представленных на рис. 2.

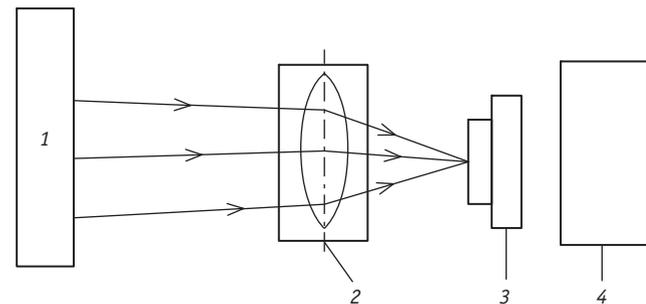


Рис. 2. Принцип работы измерительной подсистемы СТК:

1 — объект контроля; 2 — оптическая система;

3 — инфракрасный датчик; 4 — управляющая электроника

Инфракрасное излучение от нагретого тела преобразуется в электрический сигнал и отображается в виде абсолютных температур на основе предварительной калибровки по шкале сравнения. Существует ряд проблем, мешающих корректному определению температур частей подвижного состава: во-первых, солнечное излучение (Солнце — мощный источник излучения с поверхностной температурой порядка $6000\text{ }^\circ\text{C}$), во-вторых, искры, возникающие при торможении подвижного состава, и другие источники излучения, расположенные рядом с поверхностями измерения. Для уменьшения влияния этих факторов на результаты теплового контроля в СТК должны быть предусмотрены меры как аппаратного, так и программного характера.

На российских железных дорогах проблема теплового контроля ходовых частей подвижного состава (в частности, бук-

совых узлов) первоначально решалась при помощи систем ПОНАБ и ДИСК, а в дальнейшем за счет их модернизированных вариантов — КТСМ-01 и КТСМ-01Д. В конструкции КТСМ-01Д для теплового контроля колес применялись вспомогательные напольные камеры, инфракрасная оптика которых ориентирована на ступицы колес с наружной стороны [9] (рис. 3).

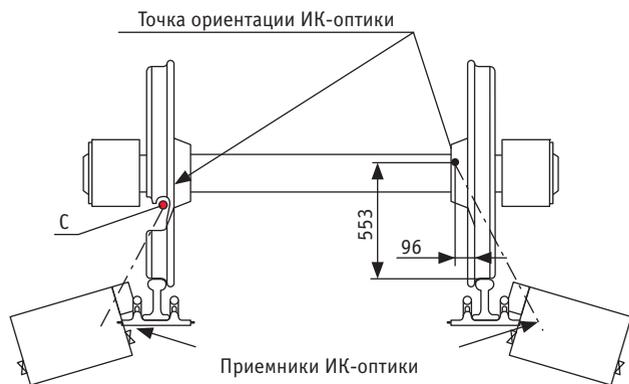


Рис. 3. Ориентация ИК-оптики (вспомогательной напольной камеры) КТСМ-01Д

Впоследствии, при совершенствовании систем автоматического контроля, КТСМ-01Д постепенно уступила место многофункциональной системе КТСМ-02, основная особенность которой — включение одной или нескольких подсистем обнаружения дефектов узлов и деталей подвижного состава. Однако отказ от вспомогательных напольных камер, ориентированных на ступицы колес, в пользу основных напольных камер КНМ с креплением на рельсе привел к невозможности непосредственной оценки нагрева колес. Тем не менее, проблема теплового контроля заторможенных колес в России все же решается при помощи КТСМ-02, хотя и опосредованно, с рядом условностей. Вследствие особенностей размещения и ориентации ИК-оптики КНМ выявляет не заторможенные колесные пары, а лишь заторможенные тележки и только в тех случаях, когда заторможенными являются четные колесные пары (рис. 4).

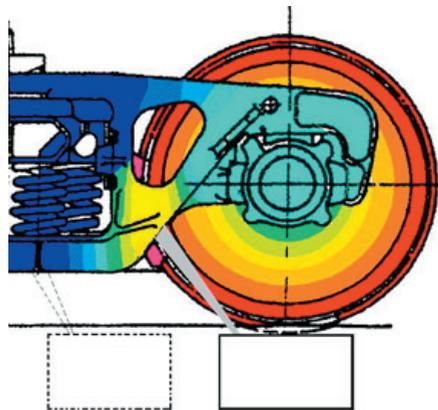


Рис. 4. Ориентация ИК-оптики КТСМ-02

С этой точки зрения подобный метод теплового контроля не является полноценным: он хотя и позволяет отказаться от применения вспомогательных напольных камер, но в то же время не выявляет при помощи основной напольной камеры заторможенные колесные пары на нечетных осях. Таким образом, становится очевидной потребность в совершенствовании аппаратных и программных средств обнаружения предотказных состояний тормозного оборудования.

Комплексные СТК применяются в США [10], Канаде [11], Индии [12], странах Европейского союза [3]. Именно опыт европейской сети железных дорог наиболее показателен в плане разработки и применения СТК. В настоящее время СТК как буксовых узлов, так и колес подразделяются на три категории в зависимости от количества точек контроля и ориентации оптики.

1. Одноэлементные СТК, в которых при наличии нескольких независимых инфракрасных датчиков для каждого из них имеется единственная точка измерения. Пример работы одноэлементной системы приведен на рис. 5.

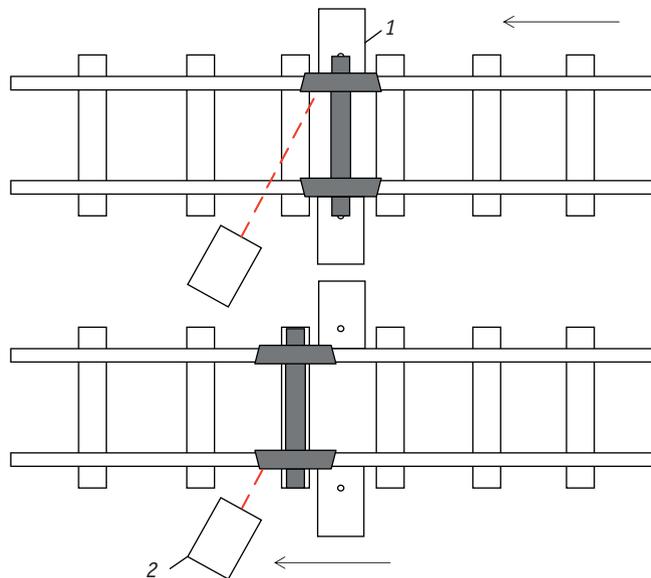


Рис. 5. Принцип работы одноэлементной СТК:

- 1 — инфракрасный датчик контроля температуры буксового узла;
- 2 — инфракрасный датчик контроля температуры колеса (на примере СТК HOA50, Ansaldo STS)

Подобные одноэлементные системы получили широкое распространение как на высокоскоростных магистралях, так и на железных дорогах общего пользования в странах Европейского союза, Египта, Ирана, Китая, Кореи и Австралии.

2. Двухэлементные СТК в плане теплового контроля колес подвижного состава идентичны одноэлементным. Единственное отличие заключается в применении для теплового контроля букс инфракрасных датчиков с двумя независимыми точками измерения. Пример ориентации инфракрасных датчиков в двухэлементной СТК приведен на рис. 6.

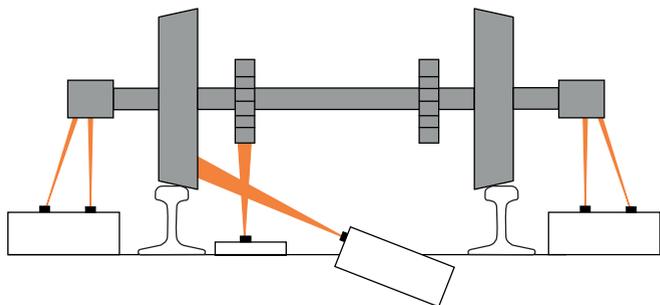


Рис. 6. Ориентация инфракрасных датчиков в двухэлементных СТК (на примере СТК ТК99, ÖBB)

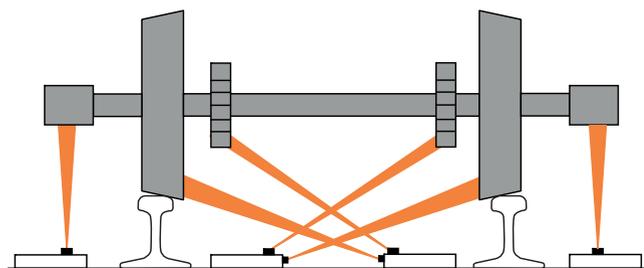


Рис. 7. Ориентация инфракрасных датчиков в многоэлементной СТК (на примере СТК FUES II EPOS)

Как видно из рис. 6, СТК ТК99 имеет по два датчика для контроля температуры буксовых узлов, а также два независимых датчика для контроля тормозного оборудования — оптика одного из них направлена непосредственно на колесо, а второго на осевую тормозной диск.

3. Многоэлементные СТК, в которых каждый инфракрасный датчик обладает несколькими точками измерения. Такие системы применяются в основном для контроля ходовых частей высокоскоростного подвижного состава, где необходимо контролировать температуру не только буксовых узлов и колес, но также и осевых тормозных дисков. Пример ориентации инфракрасных датчиков в многоэлементной СТК приведен на рис. 7.

Особенность представленной на рис. 7 СТК заключается в размещении напольного оборудования в полой металлической шпале (на рисунке не показана). Применение относительно большого количества вспомогательных камер для теплового контроля тормозного оборудования оправданно снижением количества ложных тревожных показаний.

На основании вышеизложенного могут быть предложены различные варианты ориентации ИК-оптики для отечественных СТК ходовых частей подвижного состава (в частности, для контроля заторможенных колес). На рис. 8 представлены два варианта ориентации ИК-оптики при ее размещении в рельсовой колее.

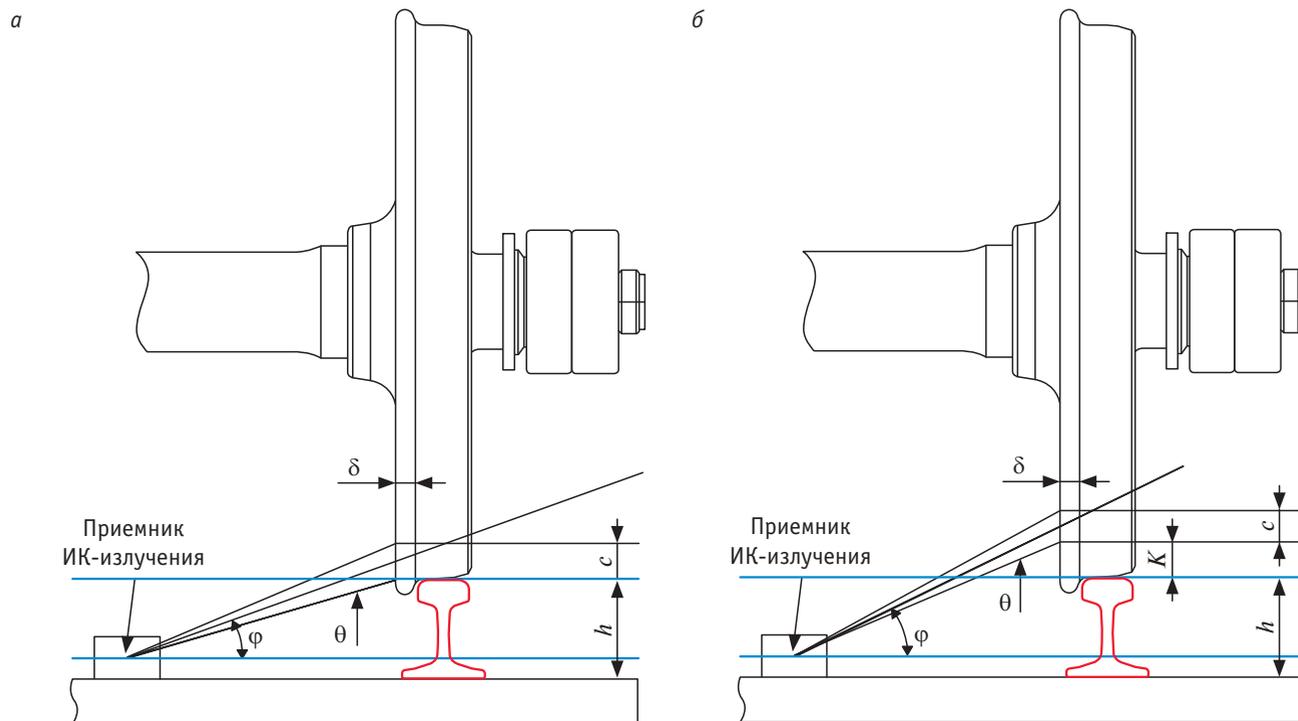


Рис. 8. Варианты ориентации ИК-оптики при размещении в рельсовой колее:

a — ориентация на обод; *b* — ориентация на диск;

δ — толщина гребня; θ — угол проекции конуса обзора приемника на плоскость; φ — угол ориентации болометра; K — параметр (расстояние), характеризующий изменение температур по колесу; c — ширина зоны контроля приемника на колесе

Использование варианта *a* предпочтительно при контроле наиболее информативной зоны, характеризующей нагрев колеса, т.е. при ориентации на точку, лежащую на линии контакта колеса и рельса. При такой ориентации пороговые значения назначаются по уровню температуры, что позволяет отсеять нагрев при кратковременном торможении. Однако в то же время возрастает вероятность тревожных показаний в случае экстренного торможения. Вариант *б* в этом случае ориентирован как раз на то, чтобы при контроле исключались тревожные показания при кратковременном экстренном торможении. Как видно из рис. 8, ИК-оптика ориентирована в более высокую точку на диске. При такой ориентации в случае заклинивания колес в этой зоне будет наблюдаться значительный нагрев, а при кратковременном экстренном торможении — низкий. При реализации подобной схемы с использованием в качестве приемника ИК-излучения болометров также потребуется установка специальных щитов-экранов, чтобы исключить нежелательную для анализа модуляцию фона неба тележками движущихся вагонов. Отказаться от щитов-экранов можно за счет применения фотонных датчиков.

Таким образом, обобщение результатов проведенного анализа позволяет утверждать, что применение систем теплового контроля ходовых частей подвижного состава (в частности, тормозного оборудования) является актуальной задачей, особенно в связи с принятием «Стратегии развития железнодорожного транспорта Российской Федерации до 2030 года» [13], среди приоритетных направлений которой определено развитие скоростного, тяжеловесного движения, а также высокоскоростного пассажирского транспорта. Реализация этих перспектив требует создания и внедрения систем теплового контроля для повышения безопасности работы железнодорожного транспорта и снижения эксплуатационных расходов. Однако, поскольку используемая в настоящее время СТК КТСМ-02 не может в полной мере удовлетворить запросы по контролю заторможенных колесных пар, очевидна потребность в совершенствовании аппаратных и программных средств обнаружения предотказных состояний тормозного оборудования.

Следующим этапом исследований по разработке информационного обеспечения для систем теплового контроля должно быть определение пороговых значений контроля, а также изучение процесса колодочного торможения с помощью экспериментальных методов и имитационного моделирования.

Литература

1. Павлюков А. Э., Черепов О. В., Шалупина П. И. Тормозные колодки грузовых вагонов: анализ повреждаемости и факторов, влияющих на создание тормозной силы // Вестник УрГУПС. 2017. № 4 (36). С. 4–11. DOI: 10.20291/2079-0392-2017-4-4-11. ISSN 2079-0392.
2. Классификатор неисправностей вагонных колесных пар и их элементов 1.20.001-2007 / ОАО «РЖД». М., 2007. 100 с.
3. Eisenbrand E. Hot box detection in European railway networks // RTR Special. 2011. Pp. 2–11.
4. On the thermal effect of tread braking upon car wheels / Hiroka T., Teramura H., Saito T., et al. // Quart. Rep. Railway Techn. Res. Inst. 1970. 11. No. 3. Pp. 160–162.
5. Миронов А. А., Образцов В. Л., Павлюков А. Э. О взаимном нагреве колеса и буксового узла в процессе эксплуатации подвижного состава // Транспорт Урала. 2008. № 4 (19). С. 24–29. ISSN 1815-9400.
6. Stellfeld J. Temperaturmessungen an hlotzgebremsten Vollrädern im Fahrbetrieb // DET-Eisenbahntechn. 1981. № 7. Pp. 281–283.
7. Mitura K., Matušek P., Faja R. Tepelné poškození železničních kol způsobené intenzivním brzděním // Železniční technika. 1980. № 3. Pp. 175–184.
8. Саврухин А. В., Неклюдов А. Н., Ефимов Р. А. Моделирование тепловых нагрузок цельнокатаных колес // Мир транспорта. 2014. № 5. С. 22–37. ISSN 1992-3252.
9. Миронов А. А., Образцов В. Л., Павлюков А. Э. Теория и практика бесконтактного теплового контроля буксовых узлов в поездах. Екатеринбург : РПФ «Ассорти», 2012. 396 с.
10. Robeda J., Sammon D., Madril B. Using wheel temperature detector technology to monitor railcar brake system effectiveness: final report. Washington, District of Columbia : U.S. Department of Transportation, Federal Railroad Administration, Office of Research and Development, 2013. 32 p.
11. Railway Investigation Report R 99T0031 / The Transportation Safety Board of Canada. Neswabin, Ontario, 1999. 89 p.
12. Butani P., Gupta S. Development of hot box & hot wheel detector / IRSME, 2010. 6 p.
13. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года : утв. распоряжением Правительства Рос. Федерации от 17.06.2008 г. № 877-р // Собрание законодательства Российской Федерации. 21.07.2008. № 29. Ч. II. Ст. 3537.

References

1. Pavlyukov A. E., Cherepov O. V., Shalupina P. I. Brake shoe of freight wagon: analysis of damage and factors affecting the brake power [Tormoznye kolodki gruzovykh vagonov: analiz povrezhdaemosti i faktorov, vliyayushikh na sozdanie tormoznoy sily] // Herald of USURT. 2017. No. 4 (36). Pp. 4–11. DOI: 10.20291/2079-0392-2017-4-4-11. ISSN 2079-0392.
2. Classifier of faults of car wheelsets and their elements. 1.20.001-2007 [Klassifikator neispravnostey vagonnykh kolesnykh par i ikh elementov. 1.20.001-2007] / JSC Russian Railways. M., 2007. 100 p.
3. Eisenbrand E. Hot box detection in European railway networks // RTR Special. 2011. Pp. 2–11.
4. On the thermal effect of tread braking upon car wheels / Hiroka T., Teramura H., Saito T., et al. // Quart. Rep. Railway Techn. Res. Inst. 1970. 11. No. 3. Pp. 160–162.
5. Mironov A. A., Obratsov V. L., Pavlyukov A. E. On the mutual heating of wheel and axle box mount in operation of rolling stock [O vzaimnom nagreve kolelsa i buksovoego uzla v protsesse ekspluatatsii podvizhnogo sostava] // Transport of the Urals. 2008. No. 4 (19). Pp. 24–29. ISSN 1815-9400.
6. Stellfeld J. Temperaturmessungen an hlotzgebremsten Vollr den im Fahrbetrieb // DET-Eisenbahntechn. 1981. No. 7. Pp. 281–283.
7. Mitura K., Matu ek P., Faja R. Tepeln po kozov ni elezni nich kol zp soben intenzivnim brzd nim // elezni n technika. 1980. No. 3. Pp. 175–184.
8. Savrukhin A. V., Neklyudov A. N., Efimov R. A. Simulation of thermal loadings of wrought wheels [Modelirovanie teplovykh nagruzheniy tsel'nokatanyykh koles] // World of Transport and Transportation. 2014. No. 5. Pp. 22–37. ISSN 1992-3252.
9. Mironov A. A., Obratsov V. L., Pavlyukov A. E. Theory and practice of non-contact thermal control of axle boxes in trains [Teoriya i praktika beskontaktnogo teplovogo kontrolya buksovykh uzlov v poezdakh]. Ekaterinburg : RPF «Assorti», 2012. 396 p.
10. Robeda J., Sammon D., Madril B. Using wheel temperature detector technology to monitor railcar brake system effectiveness : final report. Washington, District of Columbia : U.S. Department of Transportation, Federal Railroad Administration, Office of Research and Development, 2013. 32 p.
11. Railway Investigation Report R99T0031 / The Transportation Safety Board of Canada. Neswabin, Ontario, 1999. 89 p.
12. Butani P., Gupta S. Development of hot box & hot wheel detector / IRSME, 2010. 6 p.
13. Strategy for the development of railway transport in the Russian Federation until 2030 [Strategiya razvitiya zheleznodorozhnogo transporta v Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda] : approved by the Order of the Government of the Russian Federation of 17.06.2008 No. 877-r // Collection of Legislative Acts of the Russian Federation. 21.07.2008. No. 29. Part. II. Paper 3537.

УДК 629.482.8

Виктор Александрович Смирнов, кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог» Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС), Омск, Россия,
Кирилл Вячеславович Панов, преподаватель кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог» Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС), Омск, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АКТИВНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ТРИАНГУЛЯЦИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ РЕМОНТА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Viktor Alexandrovich Smirnov, PhD in Engineering, Associate Professor, Electric Rolling Stock Department, Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russia,
Kirill Vyacheslavovich Panov, Lecturer, Electric Rolling Stock Department, Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russia

Application of active laser triangulation method for solving problems of automating the technological processes of rolling stock repair

Аннотация

Рассмотрены вопросы повышения технологической гибкости и автоматизации процессов ремонта подвижного состава за счет использования элементов роботизации трудоемких технологических операций. Выполнены анализ и классификация сенсорных устройств управления промышленными роботами. Предложен способ управления приводными устройствами средств механизации путем предварительного распознавания образа объекта ремонта методом активного лазерного триангуляционного трехмерного сканирования. Приведены результаты экспериментальных исследований предлагаемого метода на макете рамы тележки подвижного состава, рассчитаны метрологические характеристики результатов измерений.

Ключевые слова: ремонт подвижного состава, производство подвижного состава, автоматизация технологических процессов, сенсорные устройства автоматического управления, лазерная триангуляция.

Summary

The issues of increasing technological flexibility and automation of rolling stock repair processes through the use of elements of robotization of labor-intensive technological operations are considered. The analysis and classification of sensor control devices of industrial robots are carried out. A method for controlling the drive devices of mechanization means by preliminary image recognition of the object under repair by the method of active laser triangulation scanning is proposed. The results of experimental studies of the proposed method on the layout of the rolling stock bogie frame are shown, metrological characteristics of measurement results are calculated.

Keywords: repair of rolling stock, production of rolling stock, automation of technological processes, sensor automatic control devices, laser triangulation.

DOI: 10.20291/1815-9400-2018-2-52-57

В связи с усилением конкуренции на рынке производства и ремонта подвижного состава принципиальное значение приобретают вопросы снижения себестоимости продукции и услуг, повышения качества, возможности быстрой переналадки и адаптации производства под изменяющиеся условия внешней среды.

Одним из эффективных способов комплексного решения поставленных задач является автоматизация технологических процессов производства и ремонта подвижного состава путем внедрения технологического оборудования с исполнительными механизмами на основе промышленных роботов. Применение такого оборудования позволяет достичь высоких показателей производительности труда, существенно сократить время переналадки и тем самым повысить технологическую гибкость производства.

Наиболее технически сложной представляется задача роботизации технологических процессов сборочного производства, что обусловлено существенной номенклатурой и разнообразием технологических операций, а также необходимостью работы исполнительных механизмов в системе пространственных координат. Традиционное решение предполагает применение манипуляторов с тремя и более степенями свободы, оснащенные интеллектуальной системой управления со следящей обратной связью [1].

Однако, как показывает анализ передового отечественного и зарубежного опыта, использование подобных технологий при производстве и ремонте подвижного состава носит единичный характер. Это объясняется следующими причинами: сложностью и дороговизной оборудования, высокими профессиональными требованиями к обслуживающему персоналу, в том числе при программировании и обучении роботов, непригодностью многих типовых промышленных решений

системы интеллектуального управления к жестким условиям ремонтного производства (например, тактильных и сенсорных датчиков и т.д.) [2].

В качестве одного из положительных примеров применения роботизированного оборудования в сборочном производстве подвижного состава можно привести дробеструйную установку очистки кузовов производства фирмы Blastman Robotics Ltd (рис. 1) [3].

Установка оснащена роботом Blastman B20S, который может перемещать дробеструйное сопло в самые труднодоступные участки обрабатываемого изделия. Траектория перемещения робота задается программно — путем его предварительного обучения оператором. Необходимость довольно длительного, трудоемкого и требующего высокой квалификации оператора обучения робота при смене номенклатуры объектов производства становится существенным недостатком установки, снижающим ее оперативную технологическую гибкость.

Альтернативный вариант управления роботами-манипуляторами сборочного производства — применение систем следящего управления, использующих различного типа сенсоры в качестве данных о пространственном расположении объекта обработки (рис. 2). Чувствительные сенсоры воспринимают информацию о внешней среде, пространственном положении объекта технологической обработки и манипуляторах и после предварительной обработки передают ее в систему управления с целью формирования управляющих воздействий для исполнительных механизмов.

Для получения информации о внешней среде могут применяться различные типы сенсоров, например: датчики присутствия деталей, датчики расстояния, параметров положения объекта в пространстве и т.д. [4, 5]. По принципу действия датчики можно разделить на четыре группы: тактильные, работающие на касание с объектом, бесконтактные видеодатчики, звуковые и ультразвуковые датчики, прочие типы бесконтактных датчиков — тепловые, магнитные и т.п. (рис. 3).

Получение точной информации о пространственных характеристиках изделия — одна из самых технически сложных задач. Попытки практического использо-

вания нескольких типов тактильных и ви-деодатчиков в системах следящей обратной связи робототехнических комплексов, предпринятые нами, показали их недостаточную устойчивость к агрессивным воздействиям внешней среды ремонтного производства подвижного состава

(в частности, неустойчивая работа в условиях высокой влажности, запыленности и загрязненности, невозможность размещения датчиков в непосредственной близости от исполнительных механизмов моечных машин, установок дробеструйной очистки и т.д.).

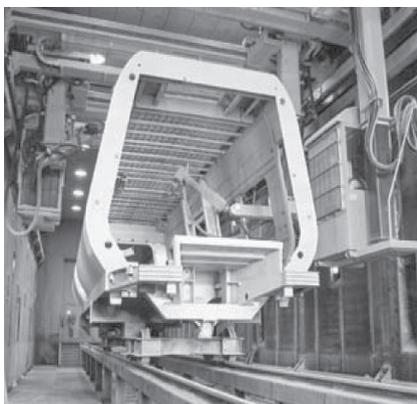


Рис. 1. Дробеструйная установка очистки кузовов подвижного состава с промышленным роботом Blastman B20

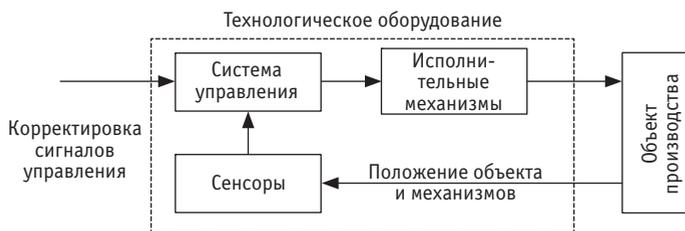


Рис. 2. Структурная схема роботизированного комплекса со следящей обратной связью



Рис. 3. Классификация датчиков роботизированных комплексов

Альтернативным вариантом системам со следящей обратной связью является получение пространственно-геометрического изображения поверхности объекта до начала технологической обработки, например, путем его лазерного триангуляционного сканирования. В этом случае управление исполнительными механизмами осуществляется по заранее сформированной жесткой траектории, повторяющей контуры обрабатываемого изделия, что позволяет решать целый ряд практических задач автоматизации таких операций, как дробеструйная очистка кузовов подвижного состава, колесных пар и рам тележек, мойка узлов и агрегатов, нанесение лакокрасочных покрытий и т.д. [6, 7].

Технологически процесс обработки изделия проходит в два этапа. На первом по результатам предварительного сканирования формируется пространственная модель объекта. На втором этапе выполняется непосредственно обработка изделия, например дробеструйная очистка по программе, созданной в результате сканирования формы объекта. Важно отметить, что при обработке изделия чувствительные элементы (датчики) не используются и могут быть удалены из рабочей зоны (например, закрыты защитным кожухом) [8].

Лазерный триангуляционный метод измерения в последние годы получил достаточно широкое распространение как один из наиболее точных и быстрых способов построения цифровых трехмерных моделей реальных объектов [9, 10]. Метод основан на определении координат изображения отраженного лазерного луча на фоточувствительной площадке матричного фотоприемника.

Принцип действия лазерного триангуляционного датчика показан на рис. 4. Источник лазерного излучения 1 под определенным углом α освещает объект лазерным лучом. Изображение объекта с лазерным лучом на его поверхности регистрируется цифровой видеокамерой 2. Путем определения положения лазерного луча на изображении вычисляются трехмерные координаты точек поверхности объекта, на которых присутствует лазерный луч или линия. Сканирование объекта возможно путем смещения лазерного луча (линии) вдоль всей поверхности.

При помощи специального программного обеспечения можно получить пространственную математическую модель объекта производства. Зная позицию каждой вершины, связь координат с вершиной, нормаль для каждой вершины, система управления формирует сигналы управляющих воздействий исполнительными механизмами роботизированного технологического оборудования [11].

С целью исследования потенциальных возможностей лазерного триангуляционного метода для получения трехмерных моделей узлов подвижного состава сложной геометрической формы в лаборатории ОмГУПС был проведен эксперимент с использованием макета рамы тележки электровоза (рис. 5). Программная обработка результатов сканирования и построение 3D-модели выполнены при помощи программы DAVID-laserscanner.

Лазерный модуль с длиной волны 650 нм (красного цвета) мощностью 5 мВт формировал перемещающийся сканирующий лазерный луч. Его проекция считывалась при помощи цифровой веб-камеры с разрешением 1024×768 пикселей.

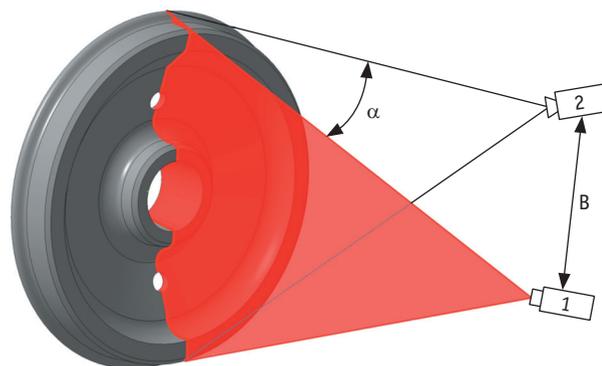


Рис. 4. Схема лазерного триангуляционного метода

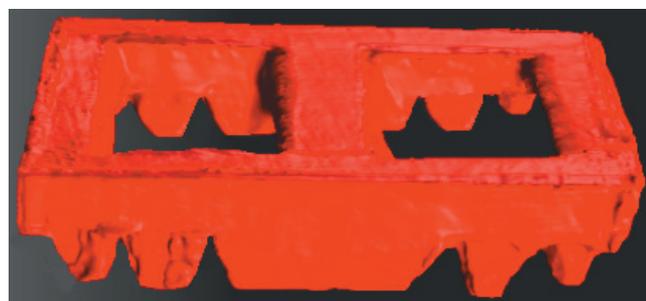


Рис. 5. Трехмерная модель макета тележки подвижного состава, полученная в результате лазерного сканирования

По окончании трехмерного сканирования результаты сохранялись в формате OBJ — общепринятом формате данных, который содержит 3D-геометрию объекта, а также связь координат текстуры с вершиной, позицию каждой вершины, ее нормаль и параметры, которые создают полигоны [10].

Программа DAVID-laserscanner позволяет определить линейные геометрические размеры различных элементов полученной трехмерной модели, что дает возможность сравнить и оценить точность полученной модели и макета тележки подвижного состава.

В качестве значений измеряемой физической величины берем размеры определенных участков тележки подвижного состава l (пример участков для измерения по оси x приведен на рис. 6).

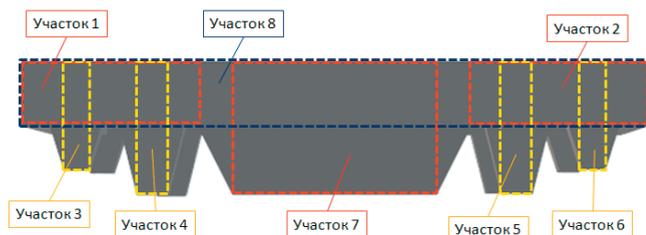


Рис. 6. Участки измерения макета тележки подвижного состава по оси x

В результате многократных измерений физической величины l на каждом рассматриваемом участке сканированной трехмерной модели тележки получено множество значений:

$$l_{x_{ij}} = \{l_{x_{i1}}, l_{x_{i2}}, \dots, l_{x_{in}}\}, \quad (1)$$

где i — участок измерения;
 j — измерение на i -м участке;
 n — количество измерений.

Найдем математическое ожидание параметров измерений физических величин на каждом исследуемом участке макета по формуле

$$\bar{l}_{x_i} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n l_{x_{ij}}, \quad (2)$$

результат занесем в табл. 1.

Аналогичным методом обозначим участки для оси y и оси z и проведем многократные измерения каждого участка модели. В результате общее число участков составит 34, а количество измерений на всех участках — 230. Приведем упрощенный фрагмент общей полученной аналитической таблицы, в которой укажем истинные значения макета тележки L (см. табл. 1).

Для каждого измерения на каждом участке рассчитаем абсолютную погрешность измерений Δl :

$$\Delta l_{ij} = |L_{ij} - l_{ij}|. \quad (3)$$

Значение средней абсолютной погрешности на участке занесем в таблицу и далее найдем относительную погрешность результатов измерений δ :

$$\delta_{ij} = \frac{\Delta l_{ij}}{L_{ij}} \cdot 100\%. \quad (4)$$

Рассчитаем среднеквадратичное отклонение σ результатов измерения от среднего арифметического каждого исследуемого участка трехмерной модели по формуле

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (L - l_j)^2}{n(n-1)}}. \quad (5)$$

По результатам расчета построим график зависимости относительной погрешности δ от истинных значений измеряемой физической величины L (рис. 7).

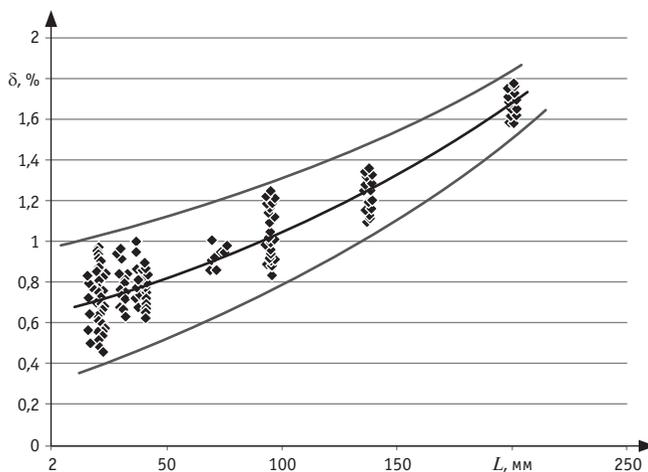


Рис. 7. График зависимости относительной погрешности δ от истинных размеров макета тележки L

Таблица 1

Результат измерений при оценке точности сканированного макета тележки подвижного состава

№ участка	Ось x				Ось y				Ось z			
	L_{x_i} , мм	\bar{l}_{x_i} , мм	Δl_{x_i} , мм	δ_{x_i} , %	L_{y_i} , мм	\bar{l}_{y_i} , мм	Δl_{y_i} , мм	δ_{y_i} , %	L_{z_i} , мм	\bar{l}_{z_i} , мм	Δl_{z_i} , мм	δ_{z_i} , %
1	20,44	20,29	0,15	0,76	137,55	135,76	1,79	1,21	138,25	136,62	1,63	1,18
2	20,29	20,15	0,14	0,79	137,60	135,88	1,72	1,23	20,28	20,12	0,16	0,75
3	37,25	37,55	0,3	0,81	137,45	135,68	1,77	1,14	29,78	29,54	0,24	0,88
4	37,25	37,55	0,3	0,87	200,50	197,09	3,41	1,71	39,15	39,44	0,29	0,79
5	40,85	41,15	0,3	0,72	200,55	197,14	3,41	1,65	41,15	41,46	0,31	0,76
6	40,70	41,01	0,31	0,81	21,55	21,40	0,15	0,65	41,10	41,40	0,3	0,76
7	40,69	41	0,31	0,73	31,89	31,64	0,25	0,8	40,55	40,84	0,29	0,72
8	200,9	197,48	3,42	1,69	21,72	21,57	0,15	0,69	16,10	16,21	0,11	0,65
9	—	—	—	—	201,44	197,99	3,45	1,66	15,95	16,07	0,12	0,72
10	—	—	—	—	201,22	197,32	3,9	1,71	—	—	—	—
11	—	—	—	—	200,67	197,19	3,48	1,68	—	—	—	—
12	—	—	—	—	200,56	197,12	3,44	1,71	—	—	—	—
13	—	—	—	—	71,00	71,71	0,71	1,03	—	—	—	—
14	—	—	—	—	75,90	76,65	0,75	0,98	—	—	—	—
15	—	—	—	—	95,11	96,15	1,04	1,04	—	—	—	—
16	—	—	—	—	95,89	96,84	0,95	1,05	—	—	—	—
17	—	—	—	—	94,64	95,61	0,97	1,04	—	—	—	—

По результатам статистических испытаний установим доверительные интервалы относительных погрешностей δ математического ожидания \bar{L} величины L в широком диапазоне ее измерения.

Чтобы определить, на какую установленную единицу измерения в среднем изменяется величина одного признака при изменении другого, нужно выполнить регрессионный анализ методом наименьших квадратов (МНК).

Найдем и проанализируем уравнения экспоненциальной регрессии в соответствии с нашим графиком рассеивания $\hat{y} = e^{a+bx}$ и вычислим коэффициенты a и b этого уравнения по формулам:

$$a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \ln \delta_{ij} - \frac{b}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n L_{ij}; \quad (6)$$

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n L_{ij} \ln \delta_{ij} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n L_{ij} \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \ln \delta_{ij}}{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n L_{ij}^2 - \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n L_{ij} \right)^2}. \quad (7)$$

Итак, искомое уравнение регрессии имеет вид

$$\hat{\delta} = e^{-0,4169+0,0046L}. \quad (8)$$

Для оценки адекватности принятой модели (8) между относительной погрешностью δ и истинными размерами макета тележки L следует рассчитать показатели коэффициентов корреляции R и детерминации R^2 .

Коэффициент корреляции R вычисляется по формуле

$$R_{xy} = \frac{\sum_{i=0}^n (\delta_i - \bar{\delta}) \cdot (\delta_i - \bar{\delta})}{\sqrt{\sum_{i=0}^n (\delta_i - \bar{\delta})^2 \cdot \sum_{i=0}^n (\delta_i - \bar{\delta})^2}} = \frac{\text{cov}(\bar{\delta}, \delta)}{\sqrt{S_x \cdot S_y}}, \quad (9)$$

где S_x — дисперсия разброса $\bar{\delta}$;

S_y — дисперсия разброса δ .

Коэффициент детерминации $R^2 = (R_{xy})^2$.

Также необходимо рассчитать среднюю ошибку аппроксимации \bar{A} для вычисления среднего отклонения расчетных значений от фактических:

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left| \frac{\delta_{ij} - \hat{\delta}_{ij}}{\delta_{ij}} \right| \cdot 100\%. \quad (10)$$

Статистические показатели оценки точности по результатам обработки всей совокупности данных приведены в табл. 2.

Таблица 2

Статистические показатели оценки точности результатов сканирования макета тележки подвижного состава

Параметр	Значение параметра
Коэффициент корреляции R	0,9888
Коэффициент детерминации R^2	0,9777
Средняя ошибка аппроксимации \bar{A} , %	4,9917

На основании расчета погрешности результатов трехмерного сканирования макета тележки подвижного состава можно с уверенностью сказать, что все ошибки и отклонения от истинных значений лежат в пределах нормы. Значение средней ошибки аппроксимации до 5 % свидетельствует об адекватности предложенной математической модели. Коэффициент корреляции говорит о прямой сильной связи фактора и результата: можно утверждать с вероятностью до 98 %, что значения параметров 3D-сканирования будут лежать в допустимых доверительных интервалах.

Литература

1. Волчкевич Л. И. Автоматизация производственных процессов : учеб. пособие. М. : Машиностроение, 2007. 380 с.
2. Смирнов В. А., Панов К. В. Повышение технологической гибкости ремонтного производства // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2014. № 1–2. С. 47–50. ISSN 2071–3827.
3. Роботы мостовой конструкции BLASTMAN [Электронный ресурс]. URL: <http://www.blastman.ru/products-and-industries/products/robots/gantry-type-robots-ru/> (дата обращения: 05.03.2018).
4. Авдеев В. А. Периферийные устройства: интерфейсы, схемотехника, программирование : учеб. пособие. М. : ДМК Пресс, 2009. 848 с.
5. Интеллектуальные роботы : учеб. пособие для вузов / Под общ. ред. Е. И. Юревича. М. : Машиностроение, 2007. 360 с.

References

1. Volchkevich L. I. Automation of production processes [Avtomatizatsiya proizvodstvennykh protsessov] : textbook. M. : Machinery, 2007. 380 p.
2. Smirnov V. A., Panov K. V. Increase flexibility technological of repair production [Povyshenie tekhnologicheskoy gibkosti remontnogo proizvodstva] // Scientific problems of Siberia and Far East. 2014. No. 1–2. Pp. 47–50. ISSN 2071-3827.
3. BLASTMAN bridge construction robots [Roboty mostovoy konstruktssii BLASTMAN]. [Electronic resource]. URL: <http://www.blastman.ru/products-and-industries/products/robots/gantry-type-robots-ru/> (access date: 05.03.2018).
4. Avdeev V. A. Peripherals: interfaces, circuitry, programming [Periferiynye ustroystva: interfeysy, skhemotekhnika, programmirovaniye] : textbook. M. : DMK Press, 2009. 848 p.
5. Intelligent robots [Intellektual'nye roboty] : textbook / Ed. by E. I. Yurevich. M. : Machinery, 2007. 360 p.

6. Автоматизированный комплекс очистки деталей и узлов подвижного состава / В. А. Смирнов, К. В. Панов : пат. на полезную модель 169641 Рос. Федерация. № 2016115036 ; заявл. 18.04.16 ; опубл. 28.03.17, Бюл. № 10.
7. Автоматизированный комплекс дробеструйной очистки кузовов подвижного состава железных дорог / В. А. Смирнов, К. В. Панов : пат. на полезную модель 170076 Рос. Федерация. № 2016125051 ; заявл. 22.06.16 ; опубл. 13.04.17, Бюл. № 11.
8. Смирнов В. А., Панов К. В. Автоматизированный комплекс дробеструйной очистки вагонов подвижного состава // Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава : матер. IV Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием. Омск : Изд-во ОмГУПС, 2017. С. 42–47.
9. 3D-лазерные информационные технологии / П. Е. Твердохлеб, В. П. Коронкевич, Э. Г. Косцов и др. / Рос. акад. наук, Сиб. отделение; Ин-т автоматики и электрометрии. Новосибирск, 2003.
10. Шандыбина Г. Д., Парфенов В. А. Информационные лазерные технологии : учеб. пособие / НИУ ИТМО. СПб., 2008. 107 с.
11. Панов К. В. Перспективы повышения уровня автоматизации технологических комплексов на предприятиях по ремонту подвижного состава // Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте : матер. науч. конф., посвящ. Дню рос. науки. Омск : Изд-во ОмГУПС, 2016. С. 252–257.
6. Automated cleaning of parts and components of rolling stock [Avtomatizirovanny kompleks ochestki detaley i uzlov podvizhnogo sostava] / V. A. Smirnov, K. V. Panov : pat. for utility model 169641 Russian Federation. No. 2016115036 ; filed 18.04.16 ; publ. 28.03.17, Journal No. 10.
7. Automated complex shot blasting bodies of railway rolling stock [Avtomatizirovanny kompleks drobestruynoy ochestki kuzovov podvizhnogo sostava zheleznykh dorog] / V. A. Smirnov, K. V. Panov : pat. for utility model 170076 Russian Federation. No. 2016125051 ; filed 22.06.16 ; publ. 13.04.17, Journal No. 11.
8. Smirnov V. A., Panov K. V. Automated complex of blast cleaning of cars of rolling stock [Avtomatizirovanny kompleks drobestruynoy ochestki vagonov podvizhnogo sostava] // Technological support of repair and improvement of dynamic qualities of railway rolling stock : materials of the IV all-Russia scientific and technical conference with international participation. Omsk : Publishing House of OSTU, 2017. Pp. 42–47.
9. 3D laser information technologies [3D-lazernye informatsionnye tekhnologii] / P. E. Tverdokhle, V. P. Koronkevich, E. G. Kostsov, et al. / Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences ; Institute of Automation and Electrometry. Novosibirsk, 2003.
10. Shandybina G. D., Parfenov V. A. Information laser technologies [Informatsionnye lazernye tekhnologii] : textbook / ITMO University. SPb., 2008. 107 p.
11. Panov K. V. Prospects of increase of level of automation of technological complexes at the enterprises on repair of the rolling stock [Perspektivy povysheniya urovnya avtomatizatsii tekhnologicheskikh kompleksov na predpriyatiyakh po remontu podvizhnogo sostava] // Innovative projects and technologies in education, industry and transport : materials of scientific conference devoted to the Day of the Russian science. Omsk : Publishing House of OSTU, 2016. Pp. 252–257.

Объем статьи 0,6 авторских листа

УДК 621.436

Леонид Валерьевич Плотников, кандидат технических наук, доцент кафедры «Турбины и двигатели» Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (УрФУ), Екатеринбург, Россия,

Борис Прокопьевич Жилкин, доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Теплоэнергетика и теплотехника» Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (УрФУ), Екатеринбург, Россия,

Юрий Миронович Бродов, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Турбины и двигатели» Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (УрФУ), Екатеринбург, Россия

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕПЛОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТОКОВ ВО ВПУСКНОЙ СИСТЕМЕ КОМБИНИРОВАННОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Leonid Valeryevich Plotnikov, PhD in Engineering, Associate Professor, Turbines and Engines Department, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin (UrFU), Ekaterinburg, Russia,
Boris Prokopyevich Zhilkin, DSc in Physics and Mathematics, Professor, Thermal Engineering and Heat Engineering Department, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin (UrFU), Ekaterinburg, Russia,
Yuriy Mironovich Brodov, DSc in Engineering, Professor, Head of Turbines and Engines Department, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin (UrFU), Ekaterinburg, Russia

Improvement of thermal and mechanical characteristics of flows in the intake system of a combined internal combustion engine

Аннотация

В настоящее время наддув активно применяется в поршневых двигателях во всем мощностном диапазоне (от автомобильных до тепловозных и судовых ДВС) с целью повышения их технико-экономических показателей. Эффективность двигателей с турбонаддувом в значительной степени зависит от совершенства процессов, протекающих во впускных и выпускных системах. В статье представлены результаты экспериментальных исследований нестационарной газодинамики и теплообмена во впускной системе поршневого двигателя с турбонаддувом. Исследования проводились на натурной модели одноцилиндрового двигателя с наддувом. Показано, что во впускной системе наблюдаются существенные пульсации скорости и давления потока в течение всего рабочего цикла поршневого двигателя. Предложен способ стабилизации потоков во впускной системе за счет управляемого сброса избыточного воздуха после турбокомпрессора. Представлена конструкторская проработка впускной системы с пневмоклапаном для тепловозного дизеля, применяемого на железнодорожном транспорте. Данный способ позволит уменьшить различие в работе цилиндров многоцилиндрового двигателя, снизить уровень шума, повысить надежность, а также увеличить КПД турбокомпрессора.

Ключевые слова: комбинированный двигатель внутреннего сгорания, турбонаддув, впускная система, газодинамическая нестационарность, стабилизация потока, сброс наддувочного воздуха.

Summary

Currently the turbocharging is actively used in piston engines to increase their technical and economic indicators (from automobile to diesel locomotives and ship engines). The efficiency of piston engines with turbocharging significantly depends on perfection of processes in the intake and exhaust systems. Results of experimental researches of unsteady gas dynamics and heat transfer in the intake system of the piston engine with a turbocharger are presented in the paper. Studies were conducted on full-scale model of the single-cylinder engine with a turbocharger. It is shown that significant pulsations of pressure and flow occur in the intake system of the combined engine during the entire working cycle. The method of stabilization of flows in the intake system due to the controlled discharge of excess air after the turbocharger is proposed. A design study of the intake system with a pneumatic valve for diesel locomotive used on the railway transport of the Russian Federation is presented. This method will reduce the difference in the cylinders of multi-cylinder engine, reduce noise, increase reliability, and increase the efficiency of the turbocharger.

Keywords: combined internal combustion engine, turbocharger, intake system, gas dynamic non-stationarity, flow stabilization, discharge of excess air.

DOI: 10.20291/1815-9400-2018-2-58-62

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время практически все дизельные двигатели внутреннего сгорания (ДВС) оборудуются системой наддува того или иного типа. Исследованию, оценке и оптимизации газодинамики и теплообмена во впускных и выпускных системах ДВС с наддувом посвящены труды многих авторов, в частности [1–4]. Следует отметить, что большинство исследований тепломеханических характеристик потоков во впускной системе ДВС с наддувом выполнено при стационарном режиме течения воздуха [5–7]. При этом очевидно, что процессы во впускной системе поршневых ДВС являются высокочастотными и нестационарными. Временные промежутки процесса впуска воздуха в цилиндр двигателя составляют сотые доли секунды, а показатели потоков в трубопроводах изменяются с частотой до 100 Гц и более. Вместе с тем известно, что газодинамическая нестационарность (пульсирующий поток) существенно влияет на газодинамику и теплообмен в гидравлических системах [8–10]. Поэтому одной из актуальных задач является изучение тепломеханических характеристик потоков воздуха во впускной системе в условиях газодинамической нестационарности, а также их совершенствование.

Основные цели данной работы состояли в получении новых данных о нестационарной газодинамике и локальной теплоотдаче во впускной системе поршневого двигателя с турбонаддувом, а также в разработке способа газодинамического совершенствования потоков в рассматриваемой системе.

Следует отметить, что исследования процессов во впускной системе проводились на так называемой «холодной» модели комбинированного двигателя, т. е. без подачи топлива в цилиндр, соответственно без учета процессов смесеобра-

зования и сгорания, а также в условиях отсутствия внешней нагрузки на ДВС. Поэтому величина положительных эффектов, полученных в ходе безмоторных испытаний, может быть различной для каждого конкретного двигателя и должна уточняться с помощью стендовых испытаний.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Ввиду сложности объекта исследования за основу был выбран экспериментальный подход. Поэтому для изучения газодинамики и теплообмена во впускной системе поршневых двигателей с турбонаддувом была спроектирована и изготовлена экспериментальная установка, общий вид которой показан на рис. 1.

Экспериментальная установка состояла из трех основных частей — модели поршневого двигателя, турбокомпрессора (ТК) и автономной системы смазки. Поршневая часть установки представляла собой натурную модель одноцилиндрового двигателя размерности 8,2/7,1, приводимую во вращение электрическим двигателем, частота вращения которого регулировалась с помощью преобразователя частоты в диапазоне от 600 до 3000 мин⁻¹. В экспериментах использовался российский турбокомпрессор размерности ТКР-6, ротор которого приводился во вращение сжатым воздухом от автономного компрессора. Частота вращения ротора ТК изменялась в диапазоне от 35 000 до 46 000 мин⁻¹.

Для измерения основных физических величин создана автоматизированная система сбора и обработки экспериментальных данных на базе аналого-цифрового преобразователя. Для определения мгновенных значений скорости потока воздуха w_x и локального коэффициента теплоотдачи α_x использовался

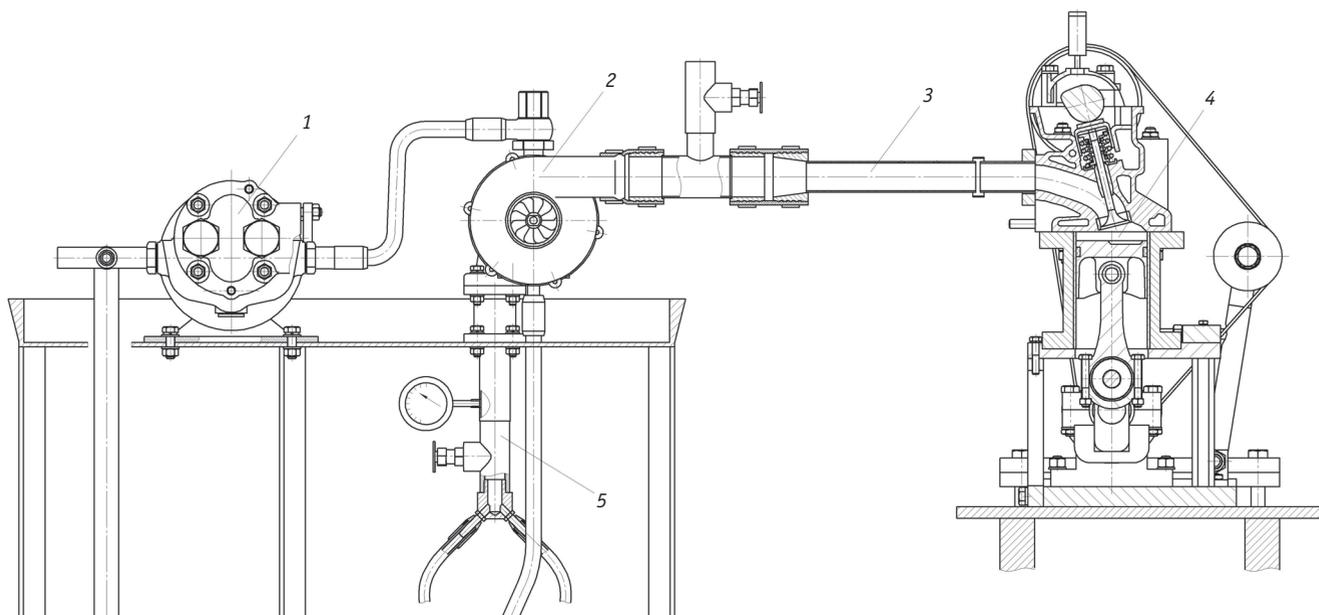


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для исследования газодинамики и теплообмена во впускной системе поршневого двигателя с турбонаддувом:

1 — масляный насос; 2 — турбокомпрессор; 3 — впускной трубопровод; 4 — модель поршневого ДВС; 5 — система подачи сжатого воздуха для привода турбокомпрессора

термоанемометр постоянной температуры. Чувствительным элементом датчиков термоанемометра в обоих случаях была нихромовая нить диаметром 5 мкм и длиной 5 мм. Мгновенные значения статического давления во впускной системе производились с помощью датчика давления фирмы WIKA. Замеры частоты вращения коленчатого вала n и ротора турбокомпрессора $n_{\text{ТК}}$ осуществлялись с помощью тахометров.

КОНСТРУКЦИЯ НОВОЙ ВПУСКНОЙ СИСТЕМЫ ПОРШНЕВОГО ДВС С НАДДУВОМ

Пилотные исследования газодинамики показали, что во впускной системе имеются существенные пульсации скорости w_x и давления p_x потока практически на всех режимах работы поршневого двигателя и турбокомпрессора [11]. Анализ литературы и результатов экспериментов позволил сделать вывод о том, что причиной интенсивных пульсаций потока во впускной системе поршневых ДВС с турбонаддувом является избыточная производительность компрессора по отношению к двигателю. Рассматриваемые пульсации отрицательно влияют на рабочий процесс поршневых двигателей и могут приводить к уменьшению наполнения цилиндра воздухом, увеличению уровня шума и снижению надежности ДВС и ТК. Следовательно, необходимо разработать способ стабилизации течения потока воздуха во впускной системе поршневого ДВС с турбонаддувом. В данном случае с целью газодинамического совершенствования потоков во впускной системе был предложен сброс избыточного наддувочного воздуха после турбокомпрессора. Схема такой опытной впускной системы показана на рис. 2.

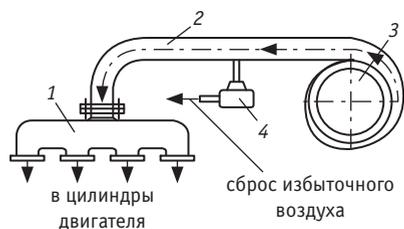


Рис. 2. Схема впускной системы поршневого двигателя с возможностью сброса части наддувочного воздуха после турбокомпрессора:

1 — впускной коллектор; 2 — соединительный трубопровод; 3 — турбокомпрессор; 4 — электропневмоклапан

Для управляемого сброса определенной части наддувочного воздуха использовался электропневмоклапан, позволяющий перенаправлять от 5 до 50 % общего объема воздуха, вырабатываемого турбокомпрессором. Следует подчеркнуть, что клапан сбрасывает именно избыточный воздух, который является источником пульсаций, поэтому расход воздуха через цилиндры двигателя сохраняется.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Установлено, что при сбросе из впускной системы определенной части наддувочного воздуха происходит снижение пульсаций скорости и давления потока, которое на некоторых режимах работы достигает 2,5 раза (рис. 3).

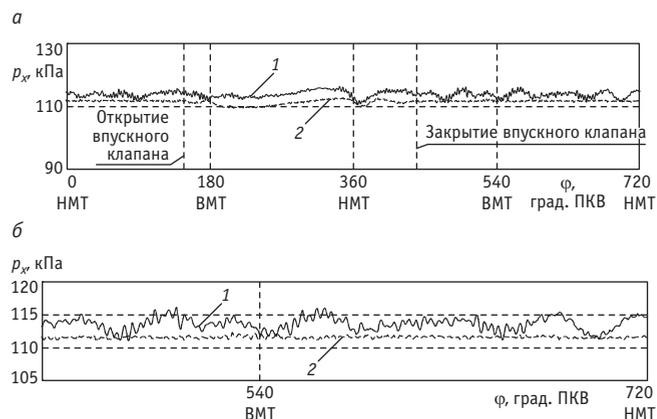


Рис. 3. Изменение давления p_x потока воздуха во впускной системе поршневого двигателя с наддувом без сброса воздуха (1) и со сбросом (2) по углу поворота коленчатого вала φ для частоты вращения коленвала $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$ и ротора турбокомпрессора $n_{\text{ТК}} = 42 000 \text{ мин}^{-1}$:

а — за рабочий цикл поршневого ДВС; б — участок после закрытия клапана

Из рис. 3а видно, что сброс определенной части наддувочного воздуха приводит к снижению пульсационных явлений во впускной системе в течение всего рабочего цикла поршневого двигателя с наддувом, т.е. в период открытого впускного клапана (в процессе впуска), так и после его закрытия. Увеличенный участок зависимости $p_x = f(\varphi)$ после закрытия впускного клапана показан на рис. 3б для более наглядной иллюстрации стабилизации течения (снижения пульсаций давления потока) во впускной системе. Из рис. 3б видно, что при частоте вращения коленчатого вала $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$ и ротора турбокомпрессора $n_{\text{ТК}} = 42 000 \text{ мин}^{-1}$ сброс определенной части наддувочного воздуха приводит к снижению пульсаций давления потока во впускной системе примерно на 40 %.

При управляемом сбросе определенной части наддувочного воздуха из впускной системы также существенно изменяется интенсивность локальной теплоотдачи (рис. 4).

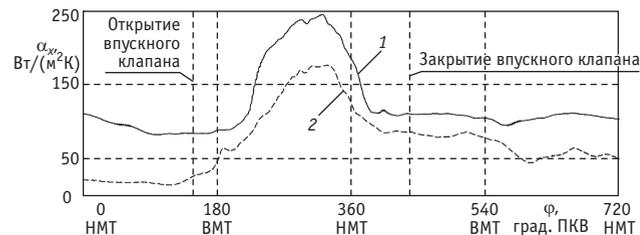


Рис. 4. Изменение локального коэффициента теплоотдачи α_x во впускной системе поршневого двигателя с наддувом без сброса воздуха (1) и со сбросом (2) по углу поворота коленчатого вала φ для частоты вращения коленвала $n = 3000 \text{ мин}^{-1}$ и ротора турбокомпрессора $n_{\text{ТК}} = 35 000 \text{ мин}^{-1}$

Установлено, что при частотах вращения $n = 3000 \text{ мин}^{-1}$ и $n_{\text{ТК}} = 35000 \text{ мин}^{-1}$ в период открытого впускного клапана снижение интенсивности теплоотдачи достигает 38 %, что, вероятно, связано с резким снижением интенсивности турбулентных пульсаций во впускной системе поршневого двигателя.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Достигнутые эффекты в плане стабилизации течения во впускной системе позволят уменьшить различия в работе цилиндров многоцилиндрового двигателя, снизить уровень шума, повысить надежность поршневого ДВС, а также увеличить КПД компрессора. Для максимального снижения пульсаций были определены оптимальные величины сброса воздуха в зависимости от частот вращения n и n_{TK} , а также разработан алгоритм автоматического управления электропневмоклапаном, в котором в качестве контрольного параметра использовалась среднеквадратичная величина пульсаций давления потока во впускной системе поршневого двигателя с наддувом.

Конструкция впускной системы с электропневмоклапаном для управляемого сброса части наддувочного воздуха для тепловозного двигателя 8ДМ-21Л производства ООО «Уральский дизель-моторный завод» представлена на рис. 5. Данный дизель предназначен для использования на железнодорожном транспорте в качестве силовой установки на маневровых тепловозах серии ТЭМ14.

На описанную впускную систему поршневого двигателя с турбонаддувом получен патент Российской Федерации [12].

Положительные эффекты, полученные на ходе безмоторных испытаний, подтверждались с помощью расчетно-аналитических оценок и математического моделирования в специализированных программных продуктах. В частности, установлено, что стабилизация течения (уменьшение пульсаций давления и скорости потока воздуха) во впускной системе поршневого двигателя с наддувом приводит к увеличению КПД турбокомпрессора вплоть до 5 %, что также повышает КПД комбинированного ДВС на частичных режимах в среднем на 1,5 %. Моделирование в программном комплексе «Дизель-РК» показало, что для рассматриваемого дизеля удельный расход топлива снизился приблизительно на 1,2 %, что позволит снизить общее потребление топлива конечным потребителям до 3 кг/ч. В годовом выражении экономия составит около 150–200 тыс. руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам выполненного исследования тепломеханических характеристик газовых потоков во впускной системе поршневого двигателя с турбонаддувом можно сделать следующие основные выводы:

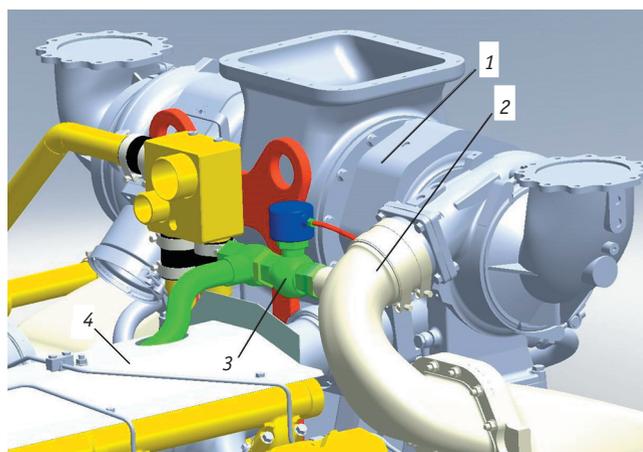


Рис. 5. Впускная система дизеля ДМ-21Л (производства Уральского дизель-моторного завода) с системой сброса части наддувочного воздуха:

1 — турбокомпрессор; 2 — соединительный трубопровод; 3 — электропневмоклапан; 4 — кожух выпускного коллектора

установлены основные закономерности изменения мгновенных значений местных скорости и давления потока воздуха, а также локального коэффициента теплоотдачи во впускной системе поршневого ДВС с турбонаддувом при разных режимах работы двигателя и турбокомпрессора;

разработан способ уменьшения (до 2,5 раза) пульсаций давления и скорости потока воздуха во впускной системе поршневого двигателя с турбонаддувом, а также способ снижения локального коэффициента теплоотдачи (в среднем на 25 %). Это позволит уменьшить различия в работе цилиндров многоцилиндрового двигателя, снизить уровень шума и повысить надежность поршневого ДВС в целом;

выполнена конструктивная проработка установки электропневмоклапана на дизельный двигатель 8ДМ-21Л (ООО «Уральский дизель-моторный завод»), предназначенный для использования на железнодорожном транспорте в качестве энергетической установки для маневрового тепловоза ТЭМ14.

Работа выполнена при поддержке РНФ в рамках научного проекта 18-79-10003.

Литература

1. Драганов Б. Х., Круглов М. Г., Обухова В. С. Конструирование впускных и выпускных каналов двигателей внутреннего сгорания. Киев : Вища шк., 1987. 175 с.
2. Автомобильные двигатели с турбонаддувом / Н. С. Ханин, Э. В. Аболтин, Б. Ф. Лямцев и др. М. : Машиностроение, 1991. 336 с.
3. Heywood J. V. Internal combustion engine fundamentals. New York : McGraw-Hill, 1988. 458 p.
4. Совершенствование процессов в газозвушных трактах поршневых двигателей внутреннего сгорания : моногр.

References

1. Draganov B. Kh., Kruglov M. G., Obukhova V. S. Design of intake and exhaust channels of internal combustion engines [Konstruirovaniye vpusknykh i vypusknykh kanalov dvigateley vnutrennego sgoraniya]. Kiev : Higher School, 1987. 175 p.
2. Turbocharged automobile engines [Avtomobil'nye dvigateli s turbonadduvom] / N. S. Khanin, E. V. Aboltin, B. F. Lyamtsev, et al. M. : Machinery, 1991. 336 p.
3. Heywood J. V. Internal combustion engine fundamentals. New York : McGraw-Hill, 1988. 458 p.
4. Improvement of processes in gas tracts of reciprocating internal combustion engines [Sovershenstvovaniye protsessov v gazovozdushnykh

- / Б. П. Жилкин, В. В. Лашманов, Л. В. Плотников, Д. С. Шестаков. Екатеринбург : УрФУ, 2015. 228 с.
5. Терегулов Т. И., Черноусов А. А. Программный пакет ALLBEA: расчетный анализ и синтез характеристик газообмена дизеля с турбонаддувом // Двигателестроение. 2013. № 3. С. 28–32. ISSN 0202–1633.
 6. Шестаков Д. С., Пронин И. Е. Доводка рабочего процесса тепловозных дизелей 8ЧН21/21 с российскими турбокомпрессорами ТКР180 // Транспорт Урала. 2015. № 4 (47). С. 81–85. DOI: 10.20291/1815-9400-2015-4-81-85. ISSN 1815–9400.
 7. Dixon S. L. Fluid mechanics and thermodynamics of turbomachinery. Oxford : Butterworth-Heinemann, 1998. 285 p.
 8. Краев В. М., Тихонов А. И. Модель влияния гидродинамической нестационарности на турбулентное течение // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2011. № 1. С. 112–118. ISSN 1026–3535.
 9. Валуева Е. П., Кулик А. А. Особенности процесса конвективного теплообмена при пульсирующем турбулентном течении газа в трубе // Теплоэнергетика. 2006. № 5. С. 50–55. ISSN 0040–3636.
 10. Park J. S., Taylor M. F., McEligot D. M. Heat transfer to pulsating turbulent gas flow // Proc. 7th Intern. Heat Transfer Conf. 1982. Vol. 3. Pp. 105–110.
 11. Жилкин Б. П., Шестаков Д. С., Плотников Л. В. Некоторые особенности газодинамики процесса впуска при наддуве поршневых ДВС // Тяжелое машиностроение. 2012. № 2. С. 48–51. ISSN 1024–7106.
 12. Впускная система поршневого двигателя с наддувом / Б. П. Жилкин, Л. В. Плотников, Д. С. Шестаков : пат. на полезную модель 118363 Рос. Федерация. № 2012105249/06 ; заявл. 14.02.12 ; опубл. 20.07.12, Бюл. № 20.
- traktakh porshnevyykh dvigateley vnutrennego sgoraniya] : monograph / B. P. Zhilkin, V. V. Lashmanov, L. V. Plotnikov, D. S. Shestakov. Ekaterinburg : Publishing House of UrFU, 2015. 228 p.
5. Teregulov T. I., Chernousov A. A. ALLBEA program package: analysis and synthesis of gas exchange characteristics in turbocharged engine [Programmnyy paket ALLBEA: raschetnyy analiz i sintez kharakteristik gazoobmena dizelya s turbonaddvom] // Engines construction. 2013. No. 3. Pp. 28–32. ISSN 0202-1633.
 6. Shestakov D. S., Pronin I. E. Adjustment of operation of 8CHN21/21 diesel locomotive engines with Russian TKR180 turbochargers [Dovodka rabocheho protsessha teplovoznykh dizeley 8CHN21/21 s rossiyskimi turbokompressorami TKR180] // Transport of the Urals. 2015. No. 4 (47). Pp. 81–85. DOI: 10.20291/1815-9400-2015-4-81-85. ISSN 1815-9400.
 7. Dixon S. L. Fluid mechanics and thermodynamics of turbomachinery. Oxford : Butterworth-Heinemann, 1998. 285 p.
 8. Kraev V. M., Tikhonov A. I. Model of influence of hydrodynamic unsteadiness on turbulent flow [Model' vliyaniya gidrodinamicheskoy nestatsionarnosti na turbulentnoe techenie] // Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Power Engineering. 2011. No. 1. Pp. 112–118. ISSN 1026-3535.
 9. Valueva E. P., Kulik A. A. Specific features of the convective heat transfer under the conditions of pulsating turbulent gas flow in a tube [Osobennosti protsessha konvektivnogo teploobmena pri pul'siruyushhem turbulentnom techenii gaza v trube] // Thermal Engineering. 2006. No. 5. Pp. 50–55. ISSN 0040-3636.
 10. Park J. S., Taylor M. F., McEligot D. M. Heat transfer to pulsating turbulent gas flow // Proc. 7th Intern. Heat Transfer Conf. 1982. Vol. 3. Pp. 105–110.
 11. Zhilkin B. P., Shestakov D. S., Plotnikov L. V. Some of characteristics of admission process of inlet process in supercharged internal combustion engines [Nekotorye osobennosti gazodinamiki protsessha vpuska pri nadduve porshnevyykh DVS] // Heavy machinery. 2012. No. 2. Pp. 48–51. ISSN 1024-7106.
 12. Intake system of turbocharged reciprocating combustion engine [Vpusknaya sistema porshnevoego dvigatelya s naddvom] / B. P. Zhilkin, L. V. Plotnikov, D. S. Shestakov : pat. for utility model 118363 Russian Federation. No. 2012105249/06 ; filed 14.02.12 ; publ. 20.07.12, Journal No. 20.

Объем статьи 0,6 авторских листа

УДК 656.256 (084)

Владимир Николаевич Коваленко, кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте»
Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, Россия,

Денис Алексеевич Зернин, аспирант кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте»
Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, Россия

АНАЛИЗ БЕЗОПАСНЫХ СТРУКТУР МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ЦЕНТРАЛИЗАЦИЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Vladimir Nikolayevich Kovalenko, PhD in Engineering, Associate Professor, Head of Railway Automation, Telemechanics and Communication Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg, Russia,

Denis Alexeyevich Zernin, postgraduate student, Railway Automation, Telemechanics and Communication Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg, Russia

Analysis of safety structures of microprocessor interlocking on railway transport

Аннотация

Рассмотрены современные безопасные структуры систем микропроцессорных централизаций. Выполнен анализ этих структур, и на его основе приведена классификация безопасных структур систем железнодорожной автоматики и телемеханики.

Ключевые слова: надежность, системы железнодорожной автоматики и телемеханики, микропроцессорная централизация, самопроверяемая структура, логическая структура.

Summary

The paper discusses modern safety structures of microprocessor interlocking systems. The analysis of such structures was carried out, and on its basis there was created a classification of safety structures of the railway automatics and telemechanics systems.

Keywords: reliability, systems of railway automatics and telemechanics, microprocessor interlocking, self-checking structure, logic structure.

DOI: 10.20291/1815-9400-2018-2-63-68

Рост объемов перевозок на железнодорожном транспорте, увеличение скоростей, веса и интенсивности движения поездов требуют повышения уровня автоматизации процессов управления движением и внедрения в эти процессы информационных технологий.

Важнейшие требования, которым должны удовлетворять системы железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ), — безопасность (Safety), т.е. свойство систем исключать опасные отказы, и кратчайшее время восстановления либо вообще недопустимость перерыва в работе СЖАТ.

На железнодорожных станциях к числу основных относятся системы электрической централизации стрелок и сигналов (ЭЦ), которые выполняют функции управления и обеспечения безопасности движения поездов. Большинство ЭЦ, эксплуатируемых в настоящее время на сети ОАО «РЖД», реализованы на специальных электромагнитных реле ЖАТ. Все эти ЭЦ безопасны по своим структурам, так как построены на реле первого класса надежности.

Под современной концепцией безопасности понимается совокупность положений, в соответствии с которыми осуществляется построение безопасной системы, т.е. безопасная система должна удовлетворять заданному уровню безопасности, а уровень безопасности определяется предельными количественными значениями показателей безопасности.

Под безопасностью транспортного комплекса (ТК) «понимается его свойство обеспечивать сохранность пассажиров, грузов, технических средств и окружающей среды» [1].

В свою очередь, безопасность ТК включает в себя две составляющие — внутреннюю и внешнюю безопасность. «Под внутренней безопасностью (Safety Internal) понимается свойство ТК не нарушать сохранность пассажиров, грузов, технических средств и окружающей среды по причине отказов его

внутренних элементов», под внешней (Safety External) — «свойство не нарушать сохранность пассажиров, грузов, технических средств и окружающей среды при воздействии внешних дестабилизирующих факторов» [1].

Как следует из приведенных выше определений, безопасность систем железнодорожной автоматики и телемеханики — это составная часть внутренней безопасности ТК, так как СЖАТ решают частные задачи по управлению движением поездов. Следовательно, и определение безопасности СЖАТ должно быть более узким, учитывающим специфику их работы.

Например, авария при отказе СЖАТ может произойти только в том случае, если опасный отказ одновременно сопровождается ошибкой, допущенной оператором, и соответствующей поездной ситуацией, т.е. вероятность аварии Q_a будет равна

$$Q_a = Q_{oo} \cdot Q_{пс} \cdot Q_{од} \quad (1)$$

где Q_{oo} , $Q_{пс}$, $Q_{од}$ — вероятность опасного отказа, существования аварийной поездной ситуации, ошибочных действий оператора, который не предотвратил аварию, соответственно.

Для того чтобы дать конструктивное определение безопасности СЖАТ, вводят понятия защитного (Protective) и опасного (Hazardous) состояния (State) [2].

Для реализации концепций безопасности используют три стратегии — безотказность (reliability), отказоустойчивость (fault-tolerance) и безопасное поведение при отказах (fail-safe) [1]. Первые две стратегии подразумевают, что система, которая правильно выполняет свой алгоритм функционирования, безопасна.

Третья стратегия используется специально для безопасных систем и заключается в переводе системы в защитное необратимое состояние при появлении отказа (рис. 1). При этом обратный переход в работоспособное состояние исключается (маловероятен) и осуществляется искусственно (обычно с участием человека), например, искусственное размыкание маршрутов в системах электрической централизации стрелок и сигналов на станциях [1].

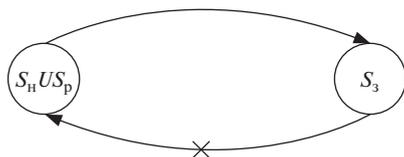


Рис. 1. Граф переходов в безопасной системе [1]:

S_H — состояние отказа; S_p — работоспособное состояние;
 S_3 — защитное состояние

В основу концепции безопасности релейных СЖАТ, выполняющих ответственные функции по обеспечению безопасности движения поездов, положен принцип использования безопасных элементов с несимметричными отказами. К таким элементам относятся реле железнодорожной автоматики I класса надежности или бесконтактные элементы с несимметричными отказами, у которых благодаря определенным свойствам интенсивность отказов вида $0 \rightarrow 1$ на несколько порядков меньше интенсивности отказов вида $1 \rightarrow 0$. При этом системы стро-

ятся в предположении, что данные отказы невозможны, а все другие отказы (необязательно одиночные) должны переводить систему в защитное состояние, т.е. используется стратегия безопасного поведения.

Не вызывает сомнения и тот факт, что на основе использования для построения СЖАТ элементной базы (специальных электромагнитных реле) невозможно создать высокоэффективные многофункциональные системы управления движением поездов.

Благодаря современным достижениям в области совершенствования технологии микроэлектроники были разработаны большие и сверхбольшие интегральные схемы и микропроцессоры, которые дают возможность создавать сложные функциональные системы. Однако высокие требования, предъявляемые к безопасности на транспорте (железнодорожном, авиационном и др.), не позволяют использовать для построения таких систем на основе больших интегральных схем и микропроцессоров стандартные технические решения.

Традиционный подход к созданию СЖАТ, обеспечивающих безопасность движения поездов (т.е. анализ возможных отказов всех элементов СЖАТ и последствий таких отказов), для микропроцессорных систем неприемлем из-за значительной сложности их внутренних связей и не позволяет с достаточной степенью достоверности контролировать работу всех элементов СЖАТ. Высокий уровень безопасности может быть достигнут только за счет совместного использования способов резервирования и средств контроля либо за счет применения специальных методов синтеза полностью самопроверяемых систем [3–6].

При разработке аппаратуры на основе принципа самопроверяемости, т.е. таких методов синтеза, которые дают возможность обнаруживать неисправности и в основной аппаратуре, и в схеме встроенного контроля, применяются самопроверяемые схемы встроенного контроля (ССВК), что позволяет избежать проблемы «сторожа над сторожем» [6].

В работе [7] отмечается, что для больших систем, таких как устройство управления, АЛУ, устройства ввода-вывода, процессор и т.д., самопроверяемые схемы встроенного контроля можно построить на основе ССВК более мелких составляющих их узлов и «сжатия» сигналов контроля в одну пару. Этот способ более экономичен, чем построение ССВК для всей системы в целом. В таких системах на основе анализа сигналов схемы встроенного контроля возможно осуществить рестарт, перевод всей системы (или отдельных ее модулей) в безопасное состояние (вплоть до выключения). С помощью свойства самопроверяемости системы повышается и отказоустойчивость. Самый распространенный способ повышения отказоустойчивости — резервирование, например использование троированных (N-ированных) мажоритарных структур. Такие системы состоят из трех синхронно работающих идентичных каналов, а решающий сигнал на выходе мажоритарного элемента формируется по значениям большинства входных сигналов («три из трех» или «два из трех»), при этом фиксируется канал, имеющий отличный от большинства выходной сигнал. В качестве примера можно привести мультипроцессорную систему FTMP (NASA, США), в которой используется общее аппаратное резервирование и которая предназначена для управления полетом самолетов [8].

С другой стороны, существуют и системы с программно реализованной отказоустойчивостью и минимальными дополнительными аппаратными затратами, в частности SIFT (Bendix Corporation, США) [9].

В работе [10] также рассматриваются методы синтеза, позволяющие разрабатывать средства контроля с исключением возможности появления в них опасного для движения поездов отказа (полностью самопроверяемые схемы контроля — ПССК).

В области разработки СЖАТ продолжается и процесс перехода (там, где это экономически целесообразно) от релейно-контактных систем к бесконтактным, так как целесообразность и необходимость использования этой аппаратуры связана прежде всего с тенденциями развития СЖАТ. Например, в работе [11] представлены следующие основные тенденции развития:

существенное повышение требований к функциям вновь разрабатываемых систем. Микропроцессорная и компьютерная техника позволяет снабжать новые системы развитым диагностическим обеспечением, обширными банками данных, автоматизированными рабочими местами (АРМ), а в ряде случаев — автоматическими устройствами регистрации действий операторов;

структурное усложнение СЖАТ за счет увеличения числа решаемых функций;

повышение требований к безотказности и отказоустойчивости систем, поскольку передача все большего числа функций от человека к устройствам автоматики увеличивает экономические затраты в связи с отказом. Основной путь повышения надежности — введение избыточности;

повышение требований к контролепригодности СЖАТ благодаря введению избыточности. Применение интегральной элементной базы и усложнение систем приводят к значительным трудностям при их обслуживании и ремонте. Поэтому на этапе разработки новых систем следует принимать меры, направленные на упрощение процессов обслуживания, поиска отказов и ремонта, т.е. делать системы контролепригодными.

Отечественный и зарубежный опыт разработки и эксплуатации микропроцессорных систем управления и обеспечения безопасности движения поездов показывает, что в настоящее время для этих целей в основном используются два способа — резервирование аппаратных средств и резервирование программных средств (рис. 2).

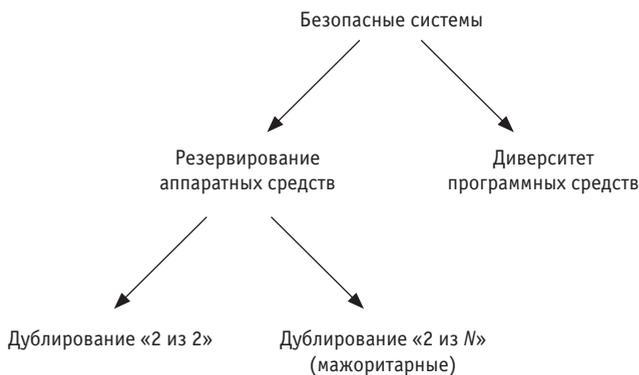


Рис. 2. Классификация безопасных систем

Безопасные системы на микропроцессорных централизах (МПЦ) применяются для обеспечения большей надежности. Такие МПЦ, построенные на безопасных структурах, сначала были созданы на зарубежном железнодорожном транспорте.

Первая из систем нового поколения — компьютерная централизация IZS-750 — была разработана шведской фирмой и внедрена в 1978 г. Далее были созданы полностью электронная система Eriloc 850 (фирма L. M. Ericsson) и система IZSD 770 (датская фирма DZI), которые базируются на одноканальной квазибезопасной структуре с двумя диверситетными программами. Безопасность системы зависит от степени диверситета. В оба программных канала входные данные вводятся методом информационного диверситета. В работе [12], в которой представлены результаты эксплуатационных испытаний этих систем, отмечается, что причиной одной трети ошибок является само программирование, одной трети — неправильные или противоречивые требования спецификаций и одной трети — ошибки в данных.

Английская микропроцессорная централизация SSI построена по принципу однопрограммной многоканальной системы «два из трех», которая функционирует в циклическом режиме с периодом 0,85 с. Управление напольными устройствами осуществляется с помощью квазибезопасных модулей со структурой «два из двух». Средства контроля и переключения в этой системе подвергаются непрерывному тестированию.

В МПЦ SIMIS фирмы Siemens используются два независимых компьютерных канала, которые работают синхронно и синфазно по одной программе с аппаратным сравнением на инверсность по принципу «два из двух» с помощью контрольных элементов Lohman. В данной системе безошибочность программного обеспечения достигается комплексными методами разработки и верификации. Во втором поколении систем этой фирмы высокая эксплуатационная готовность обеспечивается применением отказоустойчивой структуры «два из трех».

МПЦ фирмы SEL (Германия) реализована на безопасных микропроцессорных модулях типа SELMIS, которые имеют трехканальную структуру и обрабатывают информацию по принципу «два из двух» с программным сравнением. Третий канал работает в горячем резерве и включается взамен отказавшего, т.е. используется резервирование замещением.

МПЦ ELEKTRA фирмы ALCATEL (Австрия) имеет одинаковую аппаратную двухканальную структуру. Так один канал решает функциональные задачи, осуществляя логические зависимости при установке маршрутов, а второй реализует контроль безопасности с помощью экспертной системы PAMELA. Язык программирования SHILL применяется для программирования обоих каналов МПЦ, но программы для каждого канала разрабатываются разными бригадами программистов и на основе разных спецификаций, так как второй канал не решает функциональных задач — экспертная система основана на базе знаний дежурного по станции.

В МПЦ SMILE (Япония) реализуется трехканальная структура с переменным порогом мажоритирования, которая обеспечивает высокий коэффициент готовности. Аппаратный компаратор с самоконтролем производит сравнение на внутренних шинах попарно. При трехканальном мажоритировании,

поскольку используется многоканальная система, обеспечивается такое свойство, как безотказность, которая достигается в результате сравнения работы двух каналов с помощью самопроверяемых компараторов.

В микропроцессорных системах, например в системе управления движением COMTRAC (Япония), логические функции управления реализуются программным способом, что характеризуется высокой стоимостью и низкой надежностью [13]. Так, за три года эксплуатации системы COMTRAC на японских железных дорогах зафиксировано семь отказов, причем пять из них вызваны ошибками в программном обеспечении, которые не были обнаружены при отладке программы [14].

В системе SIMIS [15] (рис. 3) используются две микро-ЭВМ (осуществлено дублирование аппаратных средств и предусмотрен программный контроль работы микро-ЭВМ). Высокую надежность обрабатываемой и выдаваемой на исполнительные устройства информации обеспечивают сравнивающее устройство (СУ), датчик тактовых импульсов (ДТИ) и схема выдачи команд управления (ВКУ). В случае несоответствия сигналов схема сравнения (СУ) прерывает работу ДТИ, который, в свою очередь, останавливает работу микро-ЭВМ, приводя ВКУ в защитное состояние.

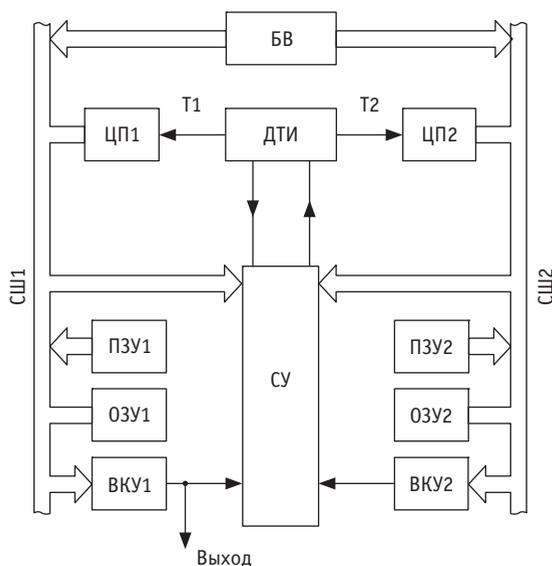


Рис. 3. Структурная схема системы SIMIS:

БВ — блок ввода; ЦП1 и ЦП2 — первый и второй центральные процессоры; ДТИ — датчик тактовых импульсов; СУ — сравнивающее устройство; ПЗУ1, ПЗУ2 и ОЗУ1, ОЗУ2 — соответственно постоянное и оперативное запоминающие устройства; ВКУ1 и ВКУ2 — схема выдачи команд управления; T1 и T2 — тактовые импульсы; СШ1 и СШ2 — системные шины

В системах микропроцессорной централизации SIMIS, ELEKTRA, SEL, ALCATEL, SSI применяется аппаратное резервирование. При этом используются два или несколько каналов для обеспечения безотказной работы систем — выполняется дублирование центрального процессора. При таком дублировании контроллер сравнивает информацию с несколькими центральными процессорами либо производится самодиагностика процессора с использованием безопасного канала [16].

На рис. 4 представлена схема, поясняющая принцип реализации метода, предложенного фирмой Ericsson, — использование программ с избыточностью. Для этого разработаны два различных варианта программы, каждая из которых имеет обратную последовательность адресов и инвертированную информацию одной программы относительно другой [17].

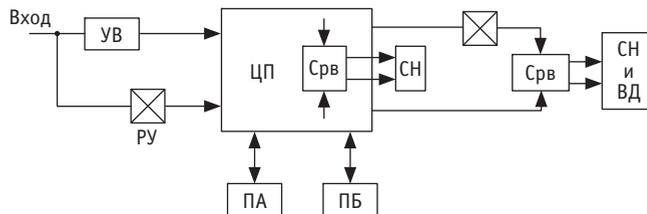


Рис. 4. Структурная схема системы, предложенной фирмой Ericsson:

УВ — устройство ввода; ЦП — центральный процессор; ПА и ПБ — соответственно программы А и Б; Срв — схема сравнения; СН — сигнал неисправности; ВД — выдача данных; РУ — регистрирующее устройство

Испытания этой системы показали, что после завершения верификации и отладки отдельных программ многие ошибки не были обнаружены, но были выявлены при их совместной работе. Около 20 % оставшихся ошибок могли бы привести к опасной ситуации. Поэтому даже при длительном сроке эксплуатации и отладки систем ни одна программа не может считаться полностью свободной от ошибок, т.е. всегда будут ситуации, которые не были учтены программистами. Следовательно, испытания таких систем должны быть долговременными, с имитацией ситуаций, которые могут происходить в процессе функционирования системы и связаны с различными отказами аппаратных и программных средств (только с теми отказами, которые возникают в период эксплуатации).

В схеме, разработанной компанией Ericsson (см. рис. 4), только один процессор, однако резервирование происходит на программном уровне. Интенсивность ошибок программного обеспечения лежит в пределах от 0,25 до 10 на 1000 команд. Следовательно, при резервировании программ и сравнении их в ЦП удастся избежать ошибочных действий, однако, так как при сравнении программ в безопасной схеме фирмы Ericsson используется процессор, который сам по себе является ненадежным микроэлектронным устройством, встает вопрос о проверке правильной работы не только программного обеспечения, но и ЦП.

В структуре фирмы Ericsson (см. рис. 4) программное дублирование обеспечивается в центральном процессоре без дополнительного аппаратного резервирования. В таких системах безопасная работа структуры выполняется внутри ЦП, где сравниваются две или несколько программ.

Итак, анализ схем микропроцессорной централизации, разработанных зарубежными фирмами, позволяет сделать вывод о том, что основным компонентом МПЦ является центральный процессор, и составить для него классификацию безопасных структур, которая представлена на рис. 5.

Резервирование центрального процессора, одно из важнейших условий безопасной и надежной работы МПЦ, делится на аппаратное и программное.



Рис. 5. Классификация безопасных структур систем ЦП МПЦ

В МПЦ с программным резервированием используется один центральный процессор, в нем осуществляется сравнение двух или N программ с безопасной схемой, при несоответствии информации происходит перезагрузка ЦП. Пример такой МПЦ — структурная схема фирмы Ericsson (см. рис. 4).

МПЦ с аппаратным резервированием делится на несколько типов:

структура «два из двух» сравнивает информацию, поступающую с двух ЦП, при помощи безопасной схемы сравнения, при несоответствии информации оба процессора перезагружаются (пример такой системы — МПЦ SEL);

структура «два из трех» (мажоритарная) сравнивает информацию с трех процессоров, при этом, если на двух процессорах имеется один вариант информации, а на третьем — другой, ложным считается тот, на котором информация не соответствует двум остальным (пример такой системы — МПЦ SMILE); структура с самодиагностикой, ЦП один, но этот процессор с установленным периодом производит диагностику по безопасному каналу на соответствие заданной информации (пример такой системы — МПЦ ALCATEL).

Итак, нами составлена классификация безопасных структур для центральных процессоров МПЦ, при этом в аппаратном резервировании, кроме структур «два из двух» и «два из N » (мажоритарная), представлена структура, которая выделена в отдельную ветвь классификации, — безопасная схема с самодиагностикой ЦП. В программном резервировании указано сравнение нескольких программ в центральном процессоре. Рассмотренная классификация составлена на основании классификации безопасных систем (диверситет аппаратных и программных средств).

Предметом дальнейших исследований будут расчеты основных показателей надежности для систем МПЦ с программным резервированием (при работе одного ЦП) и аппаратным резервированием (структура «два из двух», структура «два из трех» и самодиагностика при резервируемом ЦП).

Литература

1. Сертификация и доказательство безопасности систем железнодорожной автоматики / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, В. И. Талалаев и др. ; под ред. Вл. В. Сапожникова. М. : Транспорт, 1997. 288 с.
2. ОСТ 32.17–92. Безопасность железнодорожной автоматики и телемеханики. Основные понятия. Термины и определения. СПб. : ПИИТ, 1992. 33 с.
3. Сапожников В. В., Сапожников Вл. В. Дискретные автоматы с обнаружением отказов. Л. : Энергоатомиздат, 1984. 112 с.
4. Сапожников В. В., Сапожников Вл. В. Методы синтеза надежных автоматов. Л. : Энергия, 1980. 96 с.
5. Зернин Д. А. Анализ систем микропроцессорной централизации стрелок и сигналов на сети железных дорог ОАО «РЖД» // Инновационный транспорт — 2016: специализация железных дорог : матер. Междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2017. Вып. 8 (227). С. 166–173.
6. Мазнев В. И. Синтез полностью самопроверяемых последовательных схем // Автоматика и телемеханика. 1977. № 6. С. 167–175. ISSN 0005–2310.
7. Согомонян Е. С., Слабаков Е. В. Самопроверяемые устройства и отказоустойчивые системы. М. : Радио и связь, 1989. 208 с.
8. Хопкинс А. Л., Смит Т. Б., Лала Дж. Х. FTMP — высоконадежный отказоустойчивый мультипроцессор для управления самолетами // Труды ТИИЭИР. 1978. Т. 66. № 10. С. 143–165. ISSN 0136–7234.
9. SIFT: проектирование и анализ отказоустойчивой вычислительной системы для управления полетом летательного аппарата / Дж. Х. Уэнсли, Л. Лэмпорт, Дж. Голдберг и др. // Труды ТИИЭИР. 1978. Т. 66. № 10. С. 166–186. ISSN 0136–7234.

References

1. Certification and proof security systems of railway automatics [Sertifikatsiya i dokazatelstvo bezopasnosti sistem zheleznodorozhnoy avtomatiki] / V. V. Sapozhnikov, Vl. V. Sapozhnikov, V. I. Talalaev, et al. ; ed. by Vl. V. Sapozhnikov. M. : Transport, 1997. 288 p.
2. OST 32.17–92. Railroad automation and telemechanics safety. General concepts. Terms and definitions [Bezopasnost' zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki. Osnovnye ponyatiya. Terminy i opredeleniya]. Spb. : PIIT, 1992. 33 p.
3. Sapozhnikov V. V., Sapozhnikov Vl. V. Discrete automata with fault detection [Diskretnye avtomaty s obnaruzheniem otkazov]. L. : Energoatomizdat, 1984. 112 p.
4. Sapozhnikov V. V., Sapozhnikov Vl. V. Synthesis of dependable automata [Metody sinteza nadezhnykh avtomatov]. L. : Energy, 1980. 96 p.
5. Zernin D. A. Analysis of microprocessor interlocking systems of points and signals on network of JSC Russian Railways [Analiz sistem mikroprotessornoy tsentralizatsii strelok i signalov na seti zheleznykh dorog ОАО «RZhD»] // Innovative transport — 2016: railway specialization : materials of the International scientific and technical conference. Ekaterinburg : Publishing House of USURT, 2017. Issue 8 (227). Pp. 166–173.
6. Maznev V. I. Synthesis of fully self-checking sequential circuits [Sintez polnost'yu samoproveraemykh posledovatel'nykh skhem] // Automation and Remote Control. 1977. No. 6. Pp. 167–175. ISSN 0005-2310.
7. Sogomonyan E. S., Slabakov E. V. Self-checking devices and fault-tolerant systems [Samoproveraemye ustroystva i otkazoustoychivye sistemy]. M. : Radio and communication, 1989. 208 p.
8. Hopkins A. L., Smith T. B., Lala J. H. FTMP — a highly reliable fault-tolerant multiprocessor for aircraft control [FTMP — vysokonadezhnyy otkazoustoychivyy mul'tiprotessor dlya upravleniya samoletami] // Proceedings of the IEEE. 1978. Vol. 66. No. 10. Pp. 143–165. ISSN 0136-7234.
9. SIFT: Design and analysis of a Fault-Tolerant Computer for aircraft control [SIFT: proektirovanie i analiz otkazoustoychivoy vychislitel'noy sistemy dlya upravleniya poletom letatel'nogo apparata] / J. Wensley,

10. Сапожников В. В., Сапожников Вл. В., Ефанов Д. В. Теория дискретных устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи : учеб. М. : УМЦ ЖДТ, 2016. 339 с.
11. Методы построения безопасных микроэлектронных систем железнодорожной автоматики / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Х. А. Христов, Д. В. Гавзов ; под ред. Вл. В. Сапожникова. М. : Транспорт, 1995. 272 с.
12. Voges U. Software-Diversiteit und ihre Modellierung. Springer Verlag, 1989. 315 p.
13. Майерс Г. Надежность программного обеспечения. М. : Мир, 1980. 360 с.
14. Лисенков В. М. Высоконадежные микропроцессорные системы для управления движением поездов // Микроэлектронные системы интервального регулирования движением поездов на железнодорожном транспорте. М. : МИИТ, 1986.
15. Штрелов Х., Юбель Х. SIMIS: система повышенной надежности, построенная на базе микро-ЭВМ // Железные дороги мира. 1979. № 4. С. 48–52. ISSN 0321–1495.
16. Коваленко В. Н., Зернин Д. А. Обзор и анализ бесконтактной элементной базы для синтеза систем железнодорожной автоматики и телемеханики // Инновационный транспорт. 2018. № 1 (27). С. 41–49. DOI: 10.20291/2311-164X-2018-1-41-49. ISSN 2311–164X.
17. Берг фон Линде О. Современные ЭВМ в качестве надежных сигнальных устройств // Железные дороги мира. 1980. № 7. С. 33–37. ISSN 0321–1495.
- L. Lamport, J. Goldberg, et al. // Proceedings of the IEEE. 1978. Vol. 66. No. 10. Pp. 166–186. ISSN 0136-7234.
10. Sapozhnikov V. V., Sapozhnikov Vl. V., Efanov D. V. Theory of discrete devices of railway automation, telemechanics and communication [Teoriya diskretnykh ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki, telemekhaniki i svyazi] : textbook. M. : UMTs ZhDT, 2016. 339 p.
11. Methods of safety microelectronic railway automation systems design [Metody postroeniya bezopasnykh mikroelektronnykh sistem zheleznodorozhnoy avtomatiki] / V. V. Sapozhnikov, Vl. V. Sapozhnikov, Kh. A. Khristov, D. V. Gavzov ; ed. by Vl. V. Sapozhnikov. M. : Transport, 1995. 272 p.
12. Voges U. Software-Diversiteit und ihre Modellierung. Springer Verlag, 1989. 315 p.
13. Myers G. Software reliability [Nadezhnost' programmnoy obespecheniya]. M. : World, 1980. 360 p.
14. Lisenkov V. M. Highly reliable microprocessor systems for train dispatching [Vysokonadezhnye mikroprotsessornye sistemy dlya upravleniya dvizheniem poezdov] // Microelectronic systems of train separation on railway transport. M. : MIIT, 1986.
15. Shtrellov Kh., Yubel' Kh. SIMIS: highly reliable system, designed on the basis of microcomputer [SIMIS: sistema povyshennoy nadezhnosti, postroennaya na baze mikro-EVM] // Rail International. 1979. No. 4. Pp. 48–52. ISSN 0321-1495.
16. Kovalenko V. N., Zernin D. A. Overview and analysis of the contactless elemental base for the synthesis of rail automation and telemechanics systems [Obzor i analiz beskontaktnoy elementnoy bazy dlya sinteza sistem zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki] // Innotrans. 2018. No. 1 (27). Pp. 41–49. DOI: 10.20291/2311-164X-2018-1-41-49. ISSN 2311-164X.
17. Berg fon Linde O. Modern computers as reliable signaling devices [Sovremennye EVM v kachestve nadezhnykh signal'nykh ustroystv] // Rail International. 1980. No. 7. Pp. 33–37. ISSN 0321-1495.

Объем статьи 0,7 авторских листа

УДК 629.4.054.2

Александр Петрович Буйносов, доктор технических наук, профессор кафедры «Электрическая тяга» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, Россия,

Альберт Рифович Динисламов, аспирант кафедры «Электрическая тяга»

Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, Россия

УМЕНЬШЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ГЛУБИНЫ ПОВЕРХНОСТНОГО ТЕРМОУПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ЛОКОМОТИВОВ НЕРАЗРУШАЮЩИМ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ СПОСОБОМ

Alexander Petrovich Buynosov, DSc in Engineering, Professor, Electric Traction Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg, Russia,

Albert Rifovich Dinislamov, postgraduate student, Electric Traction Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg, Russia

Reducing the depth measurement error of locomotive parts surface thermostrengthening by non-destructive ultrasonic method

Аннотация

Исследуются вопросы уменьшения погрешности измерений глубины закалки ультразвуковым способом. Неразрушающий ультразвуковой способ разработан как альтернатива дорогостоящим разрушающим методам. Для повышения достоверности ультразвукового контроля глубины поверхностного упрочнения используются алгоритм обработки сигналов и аппаратная коррекция сигналов. В статье приведены результаты статистических исследований результатов измерения профиля термоупрочненного слоя с помощью разработанного и существующего способов.

Ключевые слова: локомотив, деталь, поверхность, термоупрочнение, глубина, неразрушающий контроль, ультразвук, измерение, метод, погрешность, уменьшение.

Summary

The issues of reducing the error of thermostrengthening depth measurements by ultrasonic method are investigated. Non-destructive ultrasonic method is developed as an alternative to expensive destructive methods. To increase the reliability of ultrasonic inspection of surface thermostrengthening depth the signal processing algorithm and hardware correction of signals is used. The paper presents the results of statistical studies of measuring the profile of thermostrengthened layer using the developed and existing methods.

Keywords: locomotive, part, surface, thermostrengthening, depth, non-destructive testing, ultrasonic, measurement, method, error, reduction.

DOI: 10.20291/1815-9400-2018-2-69-72

Практически все детали механической части локомотивов динамически нагружаемые. Следовательно, их диагностические признаки должны строгайше контролироваться. Некоторые детали механической части локомотивов подвергаются поверхностному термоупрочнению, чтобы получить оптимальное соотношение параметров «износостойкость — прочность» [1, 2]. Для поверхностно упрочненных деталей важнейший диагностический параметр — глубина закаленного слоя. В настоящее время ее контролируют только разрушающими методами. Причем параметры измеряются лишь у одной или нескольких деталей из всей партии. После разрушающего контроля детали приходят в негодность. В процессе термоупрочнения не исключены сбои аппаратуры и ошибки персонала, вследствие чего детали одной партии могут быть закалены на разную глубину или не быть закаленными [3]. Ясно, что выборочный разрушающий контроль не способен обеспечить соответствие необходимых характеристик.

Для решения этой проблемы в УрГУПС совместно с АО «НПО «Интротест» был разработан [4] способ контроля глубины поверхностной ТВЧ-закалки с использованием ультразвукового метода. В исследовании, рассмотренном в статье [4], контролировался валик рессорного подвешивания ТЭМ2У.35.30.102–01. Сравнивались два способа: применяемый разрушающий и предлагаемый неразрушающий ультразвуковой. При использовании разрушающего способа [5] с помощью установки УЗИТ-3 измерялся профиль твердости в продольном сечении образца. Измерения проводились с шагом 5 мм вдоль образующей образца и с шагом 200 мкм в радиальном направлении (8 мм от поверхности к центру) (рис. 1).

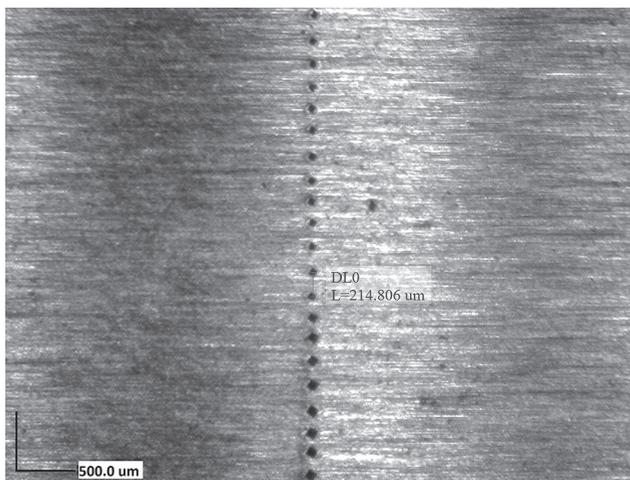


Рис. 1. Измерение профиля твердости разрушающим способом

Суть неразрушающего ультразвукового способа заключается в следующем: высокочастотным пьезоэлектрическим преобразователем А211-20-д6 в образце возбуждается ультразвуковая поперечная волна. При прохождении закаленного слоя волна не рассеивается из-за его мелкозернистой структуры. Волна, попадающая в переходную зону, в которой величина зерна увеличивается, рассеивается на границе зерен.

Для повышения достоверности ультразвукового контроля глубины поверхностного упрочнения необходимо, на наш взгляд, использовать, во-первых, алгоритм обработки сигналов, а во-вторых, их аппаратную коррекцию [6].

При ультразвуковом контроле форма эхосигнала рассеяния постоянно изменяет свой вид, это, несомненно, является следствием того, что грани зерен ориентированы произвольно. Отражающая способность зерен переходной зоны меняется при перемещении преобразователя над поверхностью образца. Погрешность измерения глубины закаленного слоя можно уменьшить, если сгладить форму сигнала. Преобразование Гильберта позволяет это сделать [7]. Прямое преобразование Гильберта для произвольного сигнала $F(t)$ определяется следующим образом:

$$F(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{f(\tau)}{t-\tau} d\tau. \quad (1)$$

Это определение можно записать через свертку произвольного сигнала $f(t)$ с $1/(\pi t)$:

$$F(t) = \frac{1}{\pi \cdot t} \cdot f(t). \quad (2)$$

Преобразование Гильберта для произвольного сигнала, по сути, это фильтр, который осуществляет поворот фаз всех частотных составляющих сигнала на $\pi/2$ и дает возможность получить «огibaющую» радиоимпульса — видеоимпульс. Последний, в свою очередь, позволяет снизить погрешность определения времени задержки эхосигнала рассеяния, обусловленную неоднородностью переходной зоны.

Усреднение по времени представляет собой накопление данных (А-сканов) с последующим вычислением среднего для каждого момента времени при заданной частоте дискретизации. Электрические шумы, вызванные наводками аппаратуры, носят случайный характер, т.е. при усреднении отфильтровываются. Что касается акустических сигналов, то при соблюдении неподвижности системы «преобразователь — объект контроля» они будут повторяться на всей серии А-сканов (рис. 2).

Использование средств обработки и аппаратной коррекции сигналов позволило уменьшить максимальное отклонение результатов измерения глубины закаленного слоя от номинального значения (в качестве эталона принимались измерения, полученные с помощью разрушающего метода) с 8–10 до 5 %.

На рис. 3 представлены профили термоупрочненного слоя для валика рессорного подвешивания.

Для подтверждения того, что предложенный ультразвуковой способ может быть достоверной альтернативой разрушающему методу, необходимо проверить, соответствуют ли совокупности результатов измерения глубины закалки нормальному распределению (удовлетворяют ли результаты критерию подобия χ^2) и сопоставимы ли дисперсии результатов измерения разрушающим и неразрушающим способами, т.е. удовлетворяют ли дисперсии результатов измерений критерию Фишера [8].

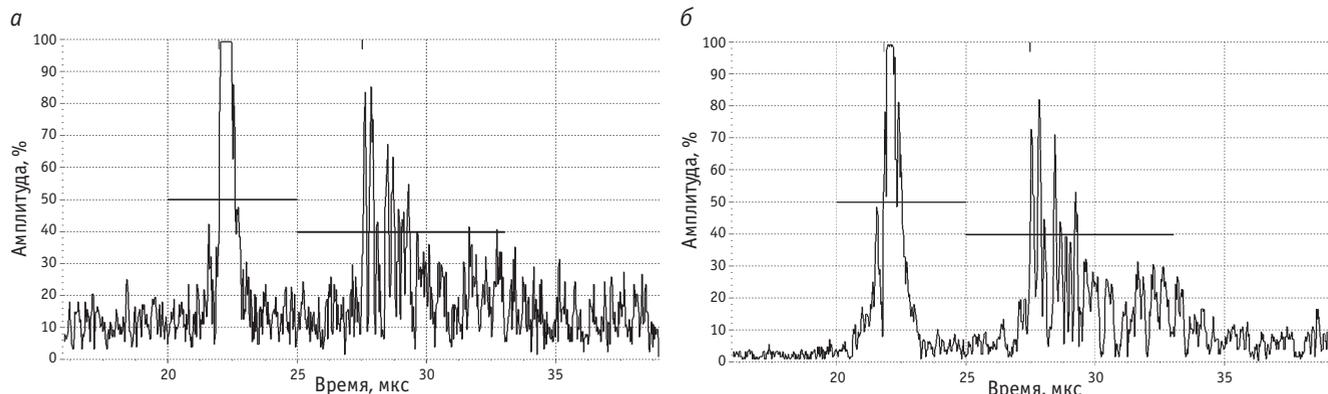


Рис. 2. А-сканы сигналов рассеяния:
а — без усреднения; б — с усреднением

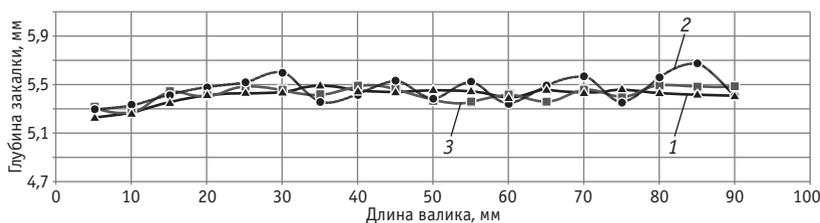


Рис. 3. Профили термоупрочненного слоя для валика рессорного подвешивания, измеренные разрушающим (1), ультразвуковым (2) и ультразвуковым способом с обработкой сигналов (3)

С этой целью были изготовлены три образца для измерения профиля твердости в продольном сечении и выполнен дополнительный эксперимент [9].

Совокупность измерений соответствует нормальному распределению, если выполняется неравенство

$$\chi^2 < \chi'^2(\alpha, k - 1), \quad (3)$$

где χ^2 — наблюдаемое значение хи-квадрат;

$\chi'^2(\alpha, k - 1)$ — критическое значение хи-квадрат;

α — уровень значимости;

k — количество степеней свободы.

В результате были получены гistogramмы распределения отклонения глубины закаленного слоя, измеренного с помощью разрушающего h_{PM} (рис. 4) и не-

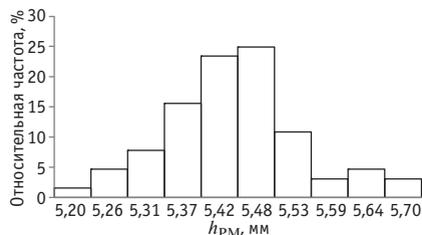


Рис. 4. Гistogramма распределения отклонения глубины закаленного слоя h_{PM} , измеренного с помощью разрушающего способа

разрушающего способа $h_{УЗК}$ (рис. 5). Основные статистические параметры распределений приведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, асимметрия и эксцесс в обоих распределениях близки к нулю. Значения наблюдаемых χ^2 для разрушающего и неразрушающего способов соответственно равны

$$\chi^2_{УЗК} = 10,28; \chi^2_{PM} = 10,05.$$

При этом критическое значение хи-квадрат при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и $k = 8$ равно

$$\chi^2(0,05, 7) = 14,06.$$

Наблюдаемые значения меньше критического, т.е. выполняется критерий подобия. Таким образом, результаты изме-

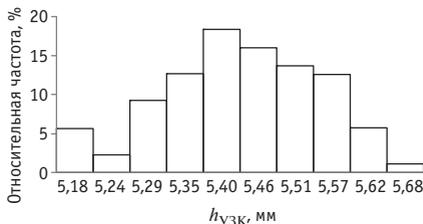


Рис. 5. Гistogramма распределения отклонения глубины закаленного слоя $h_{УЗК}$, измеренного с помощью неразрушающего способа

Таблица 1

Основные статистические параметры распределений

Среднее значение, мм	Дисперсия σ^2 , мм ²	Среднеквадратическое отклонение σ , мм	Асимметрия A_{χ} , мм	Эксцесс E_{χ} , мм
<u>5,427</u>	<u>0,010</u>	<u>0,101</u>	<u>0,242</u>	<u>0,900</u>
5,401	0,012	0,113	-0,267	-0,148

Примечание: в числителе — результаты, полученные при использовании разрушающего, в знаменателе — неразрушающего способа.

рений, полученные с помощью разрушающего и ультразвукового способов, соответствуют нормальному распределению.

Для проверки гипотезы о сопоставимости дисперсий воспользуемся критерием Фишера [10]

$$F = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} < F'(\alpha, m_1, m_2). \quad (4)$$

Если неравенство выполняется, то расхождение между дисперсиями считается незначительным. Критическую область $F'(\alpha, m_1, m_2)$ определим для уровня значимости $\alpha = 0,05$ и для $m_1 = 65$, $m_2 = 85$ степеней свободы:

$$F = \frac{0,01012}{0,012811} = 1,267;$$

$$F'(0,05; 65; 85) = 1,462; F < F'.$$

Таким образом, критерий Фишера выполняется, следовательно, дисперсии совокупностей измерений, проведенных разрушающим и неразрушающим способами, можно считать сопоставимыми.

ВЫВОДЫ

1. Использование алгоритмов обработки и средств аппаратной коррекции сигналов позволило снизить максимальное отклонение значений толщины термоупрочненного слоя, измеренных с помощью неразрушающего способа, от номинальной толщины с 10 до 5 %.

2. Получены гistogramмы распределения результатов измерения разрушающим и ультразвуковым способами. Проверка критерием подобия показала, что измеренные совокупности результатов соответствуют нормальному распределению.

3. Подтверждена гипотеза о том, что дисперсии распределения измерений, выполненных разрушающим и ультразвуковым способами, различаются незначительно.

4. Для дальнейших исследований необходимо разработать контактный вариант ультразвукового способа контроля глубины закаленного слоя, а также провести компьютерное моделирование процесса рассеяния ультразвуковых волн на границе зерен переходной зоны.

Литература

1. Крауткремер Й., Крауткремер Г. Ультразвуковой контроль материалов : справ. / Пер. с нем. М. : Metallurgiya, 1991. 752 с.
2. Буйносов А. П., Михайлова Н. А., Михайлова О. М. Прибор для контроля рельсов // Путь и путевое хозяйство. 2010. № 10. С. 13–15. ISSN 0131–5765.
3. Буйносов А. П., Динисламов А. Р. Разработка метода ультразвукового контроля глубины поверхностной закалки деталей механической части электровозов // Инновационный транспорт — 2016: специализация железных дорог : матер. Междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2017. Вып. 8 (227). С. 199–205.
4. Буйносов А. П., Волков Д. В., Динисламов А. Р. Неразрушающий метод контроля глубины поверхностной закалки деталей механической части локомотивов как альтернатива разрушающим способам // Транспорт Урала. 2018. № 1 (56). С. 26–29. DOI: 10.20291/1815-9400-2018-1-26-29. ISSN 1815–9400.
5. Буйносов А. П., Волков Д. В., Динисламов А. Р. Ультразвуковой неразрушающий метод контроля глубины поверхностной закалки деталей механической части подвижного состава // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2018. № 1. С. 104–108. ISSN 2071–3827.
6. Буйносов А. П. Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения : моногр. Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2009. 224 с.
7. Буйносов А. П., Шепелева И. О. Модель теплового процесса упрочнения стали бандажей колесных пар электровозов при нагреве равномерно распределенными источниками // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2014. № 4. С. 150–157. ISSN 2071–3827.
8. Буйносов А. П. Методы повышения ресурса колесных пар тягового подвижного состава : моногр. М. : УМЦ ЖДТ, 2010. 224 с.
9. Буйносов А. П., Динисламов А. Р. Выбор метода неразрушающего контроля термоупрочненных деталей механической части электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2017. № 1. С. 50–52. ISSN 2079–5920.
10. Шторм Р. Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества. М. : Мир, 1970. 360 с.

References

1. Krautkrämer J., Krautkrämer H. Ultrasonic testing of materials [Ul'trazvukovoy kontrol' materialov] : handbook / Translated from German. M. : Metallurgy, 1991. 752 p.
2. Buynosov A. P., Mikhaylova N. A., Mikhaylova O. M. Device for rail inspection [Pribor dlya kontrolya rel'sov] // Railway Track and Facilities. 2010. No. 10. Pp. 13–15. ISSN 0131-5765.
3. Buynosov A. P., Dinislamov A. R. Development of the method of ultrasonic depth control of surface hardening of parts of the mechanical part of electric locomotives [Razrabotka metoda ul'trazvukovogo kontrolya glubiny poverkhnostnoy zakalki detaley mekhanicheskoy chasti elektrovozov] // Innovative transport — 2016: railway specialization : materials of the International scientific and technical conference. Ekaterinburg : Publishing House of USURT, 2017. Issue 8 (227). Pp. 199–205.
4. Buynosov A. P., Volkov D. V., Dinislamov A. R. Nondestructive control method of depth of surface tempering of details of mechanical part of locomotives as the alternative to the destroying ways [Nerazrushayushhiy metod kontrolya glubiny poverkhnostnoy zakalki detaley mekhanicheskoy chasti lokomotivov kak al'ternativa razrushayushhim sposobam] // Transport of the Urals. 2018. No. 1 (56). Pp. 26–29. DOI: 10.20291/1815-9400-2018-1-26-29. ISSN 1815-9400.
5. Buynosov A. P., Volkov D. V., Dinislamov A. R. Ultrasonic nondestructive control method of depth of surface tempering of details of mechanical part of rolling stock [Ul'trazvukovoy nerazrushayushhiy metod kontrolya glubiny poverkhnostnoy zakalki detaley mekhanicheskoy chasti podvizhnogo sostava] // Scientific problems of transport in Siberia and the Far East. 2018. No. 1. Pp. 104–108. ISSN 2071-3827.
6. Buynosov A. P. The main reasons for the intensive wear bandages wheelset rolling stock and troubleshooting [Osnovnye prichiny intensivnogo iznosa bandazhey kolesnykh par podvizhnogo sostava i metody ikh ustraneniya] : monograph. Ekaterinburg : Publishing House of USURT, 2009. 224 p.
7. Buynosov A. P., Shepeleva I. O. Model of thermal process of hardening of steel of bandages of wheelpairs of electric locomotives when heating by evenly distributed sources [Model' teplovogo protsessa uprochneniya stali bandazhey kolesnykh par elektrovozov pri nagreve ravnomerno raspredelennymi istochnikami] // Scientific problems of transport in Siberia and the Far East. 2014. No. 4. Pp. 150–157. ISSN 2071-3827.
8. Buynosov A. P. Methods of improving resource wheelsets of traction rolling stock [Metody povysheniya resursa kolesnykh par tyagovogo podvizhnogo sostava] : monograph. M. : UMCS ZhDT, 2010. 224 p.
9. Buynosov A. P., Dinislamov A. R. The choice of the method of nondestructive control of the thermostrengthened details of the mechanical part of electric locomotives [Vybor metoda nerazrushayushhego kontrolya termouprochnennykh detaley mekhanicheskoy chasti elektrovozov] // Scientific and Technical Volga region Bulletin. 2017. No. 1. Pp. 50–52. ISSN 2079-5920.
10. Storm R. Probability theory. Mathematical statistics. Statistical quality control [Teoriya veroyatnostey. Matematicheskaya statistika. Statisticheskiy kontrol' kachestva] M. : World, 1970. 360 p.

Объем статьи 0,45 авторских листа

УДК 621.332.(076.5)

Алексей Анатольевич Ковалев, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Электроснабжение транспорта» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, Россия,

Алексей Юрьевич Иванищев, аспирант кафедры «Электроснабжение транспорта» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, Россия

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОНСОЛЕЙ

Alexey Anatolyevich Kovalev, PhD in Engineering, Associate Professor, Head of Transport Power Supply Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg, Russia,

Alexey Yuriyevich Ivanishhev, postgraduate student, Transport Power Supply Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg, Russia

Method of determining the cantilever geometric parameters

Аннотация

В статье исследуются проблемы качества токосъема. Предложена методика расчета геометрических параметров консолей контактной сети. Рассмотрен первый этап расчета, позволяющий в дальнейшем автоматически определять координаты оси железнодорожного пути на плане.

Ключевые слова: контактная сеть, консоль, токосъем, высокоскоростная магистраль, электрифицированные железные дороги, уровень головки рельса.

Summary

The paper deals with the problems of current collection quality. The method of calculating the geometrical parameters of cantilevers is proposed. The first stage of calculation, which allows the further automatic determination of the railway track axis coordinates on the plan, is considered.

Keywords: contact line, cantilever, current collection, high-speed railway, electrified railways, rail level.

DOI: 10.20291/1815-9400-2018-2-73-76

Стратегия развития компании ОАО «Российские железные дороги» включает в себя такие направления, как повышение надежности работы устройств электроснабжения, реализация мероприятий по обеспечению тяжеловесного движения поездов, развитие скоростных и высокоскоростных магистралей, что позволит увеличить грузооборот и пассажиропоток, а также получить экономический эффект. Продление жизненного цикла объектов железнодорожной инфраструктуры должно осуществляться с учетом требований надежности. Достичь такого результата возможно за счет внесения корректировок на стадии проектирования устройств, контроля проектных решений на этапе производства и монтажа, а также точной регулировки на этапе эксплуатации. Применительно к контактной подвеске необходимо соблюдать и контролировать ее геометрические размеры, а также положение ее поддерживающих конструкций.

Сегодня один из основных проектов ОАО «РЖД» — строительство высокоскоростной магистрали Москва — Казань. С увеличением скоростей движения подвижного состава растут требования к контактной подвеске. Согласно типовому проекту УКС, скорости движения на участках ВСМ достигают 400 км/ч. При таких скоростях важно правильно установить контактный провод относительно железнодорожного пути. Точность установки контактного провода достигается за счет индивидуального расчета геометрических параметров консоли на каждом участке пути.

При расчете геометрических параметров консолей необходимо учитывать множество условий, в частности профиль и тип участка железнодорожного пути. При переходе из круговой кривой в прямую и наоборот ось железнодорожного полотна принимает форму клотоиды, что усложняет задачу наличием переходных кривых. Консоли производства АО «Форатек-ЭТС» имеют отдельные модификации для прямых и кривых участков пути, следовательно, возникает сложность подбора этих консолей для переходных участков.

Расчет геометрических параметров консоли состоит из нескольких этапов:

- 1) определение плана пути;
- 2) расстановка опор на плане пути с расстановкой габаритов и зигзагов контактного провода;
- 3) определение типа консоли;
- 4) расчет длин труб консоли.

В данной статье представлена предлагаемая авторами методика расчета геометрических параметров консоли, которая позволяет более точно определять координаты оси железнодорожного пути на участках переходных кривых. Это дает возможность на стадии проектирования установить необходимое положение контактного провода в плане пути, а следовательно, повысить качество токосъема.

Для определения плана пути необходимы следующие исходные данные: радиусы кривых, длины кривых участков пути, длины переходных кривых, длины прямых участков пути.

Рассмотрим участок железнодорожной линии, состоящий из кривого участка пути длиной 330 м и радиусом 450 м, переходной кривой длиной 50 м, прямого участка длиной 300 м, переходной кривой 70 м, кривого участка длиной 370 м и радиусом 600 м.

Примем, что исходная точка будет иметь координаты $x = 0$, $y = 0$. Для определения координат следующей точки необходимо определить угол поворота α , рад [1]:

$$\alpha = N \cdot \frac{K}{R}, \quad (1)$$

где N — номер точки;

R — радиус кривой;

K — длина участка от предыдущей точки до определяемой.

Далее определяем координаты точки:

$$x = R \cdot \sin \alpha; \quad (2)$$

$$y = R \cdot (1 - \cos \alpha). \quad (3)$$

После определения всех координат кривого участка пути переходим к определению координат переходной кривой. Координаты начала переходной кривой имеют значения координат последней точки кривого участка пути. Последующие координаты определяются по формулам [2]:

$$\beta = \arctg \left(\frac{x_n - x_{n-1}}{y_n - y_{n-1}} \right); \quad (4)$$

$$x_k = K \cdot \left(1 - \frac{K^4}{40 \cdot R^2 \cdot l^2} + \frac{K^8}{3456 \cdot R^4 \cdot l^4} \right) \cdot \cos \beta - \frac{K^3}{6 \cdot R \cdot l} \cdot \left(1 - \frac{K^4}{56 \cdot R^2 \cdot l^2} + \frac{K^8}{7040 \cdot R^4 \cdot l^4} \right) \cdot \sin \beta + x_{k-1}; \quad (5)$$

$$y_k = K \cdot \left(1 - \frac{K^4}{40 \cdot R^2 \cdot l^2} + \frac{K^8}{3456 \cdot R^4 \cdot l^4} \right) \cdot \sin \beta + \frac{K^3}{6 \cdot R \cdot l} \cdot \left(1 - \frac{K^4}{56 \cdot R^2 \cdot l^2} + \frac{K^8}{7040 \cdot R^4 \cdot l^4} \right) \cdot \cos \beta + y_{k-1}. \quad (6)$$

Точка начала прямого участка пути совпадает с конечной точкой переходной кривой, следовательно, координаты этих точек будут совпадать. Прямой участок пути будет располагаться на плане соосно с последним отрезком переходной кривой, поэтому необходимо определить угол поворота последнего отрезка относительно оси Ox . Угол γ определяется таким же образом, как угол β .

Далее найдем координаты приращения для отрезков прямого участка пути:

$$\Delta x = K \cdot \cos \gamma; \quad (7)$$

$$\Delta y = K \cdot \sin \gamma. \quad (8)$$

Координаты второй переходной кривой и круговой кривой определяются по аналогии с первыми участками железнодорожного пути. После завершения расчетов получаем план пути.

На плане железнодорожного пути изображена линия оси пути. Зная габарит опоры, зигзаг контактного провода и координаты оси пути, мы можем определить геометрические параметры консоли.

В работе [3] была предложена классификация консолей по скоростному режиму, позволяющая подбирать типы консолей под конкретный скоростной режим. На основе предложенной классификации и приведенных выше расчетов составлена уточненная классификация алюминиевых консолей, которая дает возможность подбирать тип консоли не только для конкретной скорости, но и для конкретного места установки на железнодорожном участке.

В табл. 1 приведена классификация алюминиевых консолей нескольких производителей для участков пути с различными скоростями движения.

Сделаем краткие пояснения к типам консолей:

АИП (АИПп) — консоль алюминиевая изолированная с прямым фиксатором (п — с подкосом);

АИО (АИОп) — консоль алюминиевая изолированная с обратным фиксатором (п — с подкосом);

АИАп — консоль алюминиевая изолированная анкеруемой ветви контактной подвески с подкосом;

АИПсп — консоль алюминиевая изолированная средней опоры 4-пролетного сопряжения с прямой фиксацией с подкосом;

КИА — консоль изолированная алюминиевая;

КВС-3 — консоль высокоскоростной железнодорожной магистрали постоянного тока;

КВСО-3 — консоль высокоскоростной железнодорожной магистрали с поворотным зажимом со струновым ушком постоянного тока;

КВС-в-3 — консоль высокоскоростной железнодорожной магистрали с повышенной конструктивной высотой постоянного тока;

КВСА-3 — консоль высокоскоростной железнодорожной магистрали с узлом фиксатора с двойным ушком для двух фиксаторов постоянного тока.

Классификация консолей составлена согласно типовым проектам АО «Фортатек-ЭТС» 17Э.001К и АО «УКС» КС-400.Э1-15.

Таблица 1

Классификация консолей постоянного тока

Критерии классификации		Классификация консолей по типам для линий с различными скоростными режимами					
		Для скоростей движения до 160 км/ч	Для скоростей движения от 161 до 250 км/ч	Для скоростей движения от 251 до 400 км/ч			
				Прямой участок пути	Внешняя сторона кривой	Внутренняя сторона кривой	
Промежуточные опоры	Прямой фиксатор	АИП(АИПп)	КИА	КВС-3	КВС-3	КВС-3	
	Обратный фиксатор	АИО(АИОп)	КИА	КВСО-3	КВСО-3	КВСО-3	
Опора средней анкеровки	Прямой фиксатор	АИП(АИПп)	КИА	КВС-3	КВС-3	КВС-3	
	Обратный фиксатор	АИО(АИОп)	КИА	КВСО-3	КВСО-3	КВСО-3	
Неизолирующее сопряжение	Переходная опора «А»	Рабочая ветвь	АИО(АИОп)	КИА	КВС-в-3	КВС-в-3	КВС-в-3
		Анкеруемая ветвь	АИАп	КИА	КВСА-3	КВСА-3	КВСА-3
	Переходная опора «Б»	Рабочая ветвь	АИП(АИПп)	КИА	КВСО-3	КВС-3	КВСО-3
		Анкеруемая ветвь	АИАп	КИА	КВСА-в-3	КВСА-в-3	КВСА-в-3
	Переходная опора «В» 4-пролетного сопряжения	Ближняя к опоре ветвь	АИП(АИПп)	КИА	КВС-в-3	КВС-в-3	КВС-в-3
		Дальняя от опоры ветвь	АИПСп	КИА	КВС-3	КВС-3	КВСО-3
Изолирующее сопряжение	Переходная опора «А»	Рабочая ветвь	АИО(АИОп)	КИА	КВС-в-3	–	–
		Анкеруемая ветвь	АИАп	КИА	КВСА-3	–	–
	Переходная опора «Б»	Рабочая ветвь	АИП(АИПп)	КИА	КВСО-3	–	–
		Анкеруемая ветвь	АИАп	КИА	КВСА-в-3	–	–
	Переходная опора «В» 4-пролетного и 5-пролетного сопряжения	Ближняя к опоре ветвь	АИП(АИПп)	КИА	КВС-в-3	–	–
		Дальняя от опоры ветвь	АИПСп	КИА	КВС-3	–	–
	Переходная опора «Г» 5-пролетного сопряжения	Ближняя к опоре ветвь	АИП(АИПп)	КИА	КВСО-в-3	–	–
		Дальняя от опоры ветвь	АИПСп	КИА	КВСО-3	–	–

После выбора места установки опоры на плане и ее габарита начинаем расчет геометрических параметров консоли. Сначала отступаем от оси пути расстояние Г (габарит опоры) и рисуем отрезок, равный высоте опоры, с учетом ее конусности, если это консольная опора [4].

Далее отступаем высоту контактного провода от оси пути и откладываем зигзаг контактного провода (33). Таким образом получаем точку подвешивания контактного провода. От полученной точки откладываем вертикально вверх расстояние, равное конструктивной высоте (КВ — расстояние между контактным проводом и несущим тросом) и получаем точку подвешивания несущего троса. Несущий трос закрепляется в зажиме, следовательно, от полученной точки подвеса несущего троса откладываем вниз размер зажима и получаем точку, через которую будет проходить горизонтальная труба консоли. Из этой точки визуально проводим горизонтальную прямую, упираясь в опору, и из полученной точки откладываем размер поворотной петли, к которой крепится изолятор.

Далее откладываем из конечной точки величину изолятора, проводим прямую через точку крепления зажима несущего троса к трубе и продолжаем линию за эту точку на 278 мм или 242 мм соответственно прямой или обратной фиксации контактного провода [5]. От места крепления горизонтальной

трубы к опоре откладываем вниз по опоре расстояние между хомутами (РХ) и из полученного положения откладываем расстояние поворотной петли. Далее от зажима несущего троса откладываем в сторону опоры 210 мм и получаем место присоединения наклонной трубы к горизонтальной. Следующим шагом от конца нижней поворотной петли в сторону места крепления труб откладываем величину длины изолятора и затем саму длину трубы до места крепления. От точки крепления контактного провода под необходимым уклоном (22 % — на прямом, 12 % — на кривом участке пути) откладываем длину дополнительного стержня фиксатора, как правило, она составляет 1250 мм. От нижнего крепления консоли к опоре вверх откладываем 900 мм (для прямой фиксации) или 1000 мм (для обратной фиксации) и из полученной точки проводим воображаемую горизонтальную линию до наклонной трубы консоли, тем самым получая место крепления основного стержня фиксатора к консоли. Основной стержень находится под уклоном 4 % для прямого или 26 % — для кривого участка пути. От конца основного стержня откладываем 200 мм и чертим ветровую струну к дополнительному стержню фиксатора. От конца дополнительного стержня фиксатора проводим перпендикулярную линию к основному стержню фиксатора, которая показывает стойку дополнительного стержня фиксатора. Крепления

подкоса ставим на расстоянии не более 150 мм от конца изолятора на горизонтальном стержне и от места крепления фиксатора на наклонном стержне консоли. Итоги геометрических построений представлены на рис. 1.

Предлагаемый способ расчета геометрических параметров консолей необходимо рассматривать в совокупности с проектированием железнодорожного полотна. Это позволит с высокой точностью устанавливать контактный провод в пространстве по отношению к железнодорожному пути и полозу токоприемника, что повысит качество токосъема.

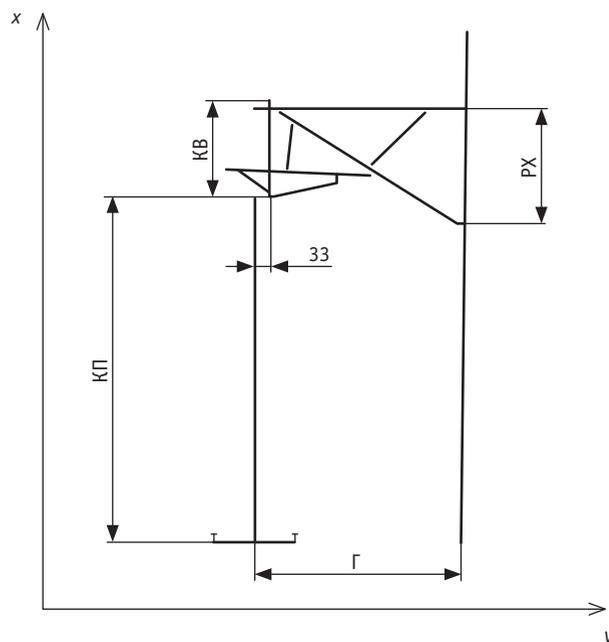


Рис. 1. Консоль контактной сети

Литература

1. Микава А. В. Обеспечение требуемых статических параметров скоростных и высокоскоростных контактных подвесок на этапах жизненного цикла : дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург, 2017.
2. Лагута В. В. Совершенствование проектирования кривых железнодорожного пути в плане : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Днепропетровск, 2002.
3. Микава А. В., Ковалев А. А. Разработка математической модели положения консоли по высоте опоры // Инновационный транспорт. 2016. № 2 (20). С. 42–49. DOI: 10.20291/2311-164X-2016-2-42-49. ISSN 2311–164X.
4. Методика расчета поддерживающих конструкций контактной сети. М., 2002. 123 с.
5. Власов Д. И., Логинов В. И. Таблицы для разбивки кривых на железных дорогах. М. : Транспорт, 1968. 520 с.

Объем статьи 0,35 авторских листа

References

1. Mikava A. V. Providing the required static parameters of high-speed overhead catenaries at life cycle stages [Obespechenie trebuyemykh staticheskikh parametrov skorostnykh i vysokoskorostnykh kontaknykh podvesok na etapakh zhiznennogo tsikla] : PhD in Engineering Thesis. Ekaterinburg, 2017.
2. Laguta V. V. Improving the planning of horizontal railway track curves [Sovershenstvovanie proektirovaniya krivykh zheleznodorozhnogo puti v plane] : Synopsis of PhD in Engineering Thesis. Dnepropetrovsk, 2002.
3. Mikava A. V., Kovalev A. A. Development of mathematical model for bracket position by height of support [Razrabotka matematicheskoy modeli polozheniya konsoli po vysote opory] // Innotrans. 2016. No. 2 (20). Pp. 42–49. DOI: 10.20291/2311-164X-2016-2-42-49. ISSN 2311-164X.
4. Methods of calculating the supporting structures of contact line [Metodika rascheta podderzhivayushhikh konstruktsiy kontaktnoy seti]. M., 2002. 123 p.
5. Vlasov D. I., Loginov V. I. Tables for ranging of curves on railways [Tablitsy dlya razbivki krivykh na zheleznykh dorogakh]. M. : Transport, 1968. 520 p.

УДК 656.216

Алексей Анатольевич Ковалев, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Электроснабжение транспорта» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, Россия,

Александр Михайлович Маслов, кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры «Электроснабжение транспорта» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, Россия,

Никита Андреевич Аксенов, аспирант кафедры «Электроснабжение транспорта», Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ МОБИЛЬНЫХ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ ОПОР КОНТАКТНОЙ СЕТИ

Alexey Anatolyevich Kovalev, PhD in Engineering, Associate Professor, Head of Transport Power Supply Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg, Russia,

Alexander Mikhaylovich Maslov, PhD in Engineering, Senior Researcher, Transport Power Supply Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg, Russia,

Nikita Andreevich Aksenov, postgraduate student, Transport Power Supply Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg, Russia

The use of mobile devices for catenary supports diagnostics

Аннотация

К встроенным устройствам диагностики относится оборудование, позволяющее контролировать техническое состояние элементов контактных сетей и линий электропередачи. Эти устройства, представляющие собой необходимое дополнение для создания долговечных и малообслуживаемых конструкций контактных сетей, наименее разработаны, но перспективы их использования возрастают по мере увеличения скоростей движения поездов.

В статье рассмотрены вопросы мониторинга опор контактной сети и предложен разработанный авторами способ, позволяющий контролировать угол наклона опор контактной сети с использованием мобильных средств диагностики.

Ключевые слова: высокоскоростное движение, степень разрегулировки, износ, выправка опоры, прибор мобильной диагностики, угол наклона опор контактной сети.

Summary

The built-in diagnostic devices include equipment that allow to monitor the technical conditions of contact lines and power lines elements. These devices, being the necessary addition to the construction of long-lasting and low-maintenance contact line structures, are the least developed, but the prospects for their use increase as increases the speed of trains.

The paper deals with the issues of catenary supports monitoring and proposes a method developed by the authors that allows to control the angle of inclination of catenary supports using mobile diagnostics devices.

Keywords: high-speed running, level of misalignments, wear, support alignment, mobile diagnostics device, angle of inclination of catenary supports.

DOI: 10.20291/1815-9400-2018-2-77-79

При организации высокоскоростного движения к средствам диагностики обеспечивающей инфраструктуры железнодорожного транспорта предъявляются особые требования: для безопасного и бесперебойного движения поездов необходим постоянный контроль за критически важными параметрами подсистем этой инфраструктуры, в частности подсистемы контактной сети.

Ключевым элементом, от состояния которого во многом зависит надежность работы контактной сети, являются опоры. Выход из строя даже одной опоры может привести к длительной задержке движения поездов.

Основной параметр, который контролируется при первичной установке и в процессе эксплуатации опор контактной сети, — угол отклонения опор от вертикали в процентном соотношении от ее высоты [1]. Измерение этого параметра связано с определенными сложностями, обусловленными конусностью опоры, а также тем, что допускаемые отклонения от вертикали регламентируются и в продольном, и в поперечном направлении относительно оси пути [2].

Для замера угла наклона опоры контактной сети применяются различные приборы, например теодолит, УВК-1, СДУМ КС, классификация и характеристики которых детально рассмотрены в работе [1].

В научно-исследовательской лаборатории «Системы автоматизированного проектирования контактной сети» (НИЛ САПР КС) УрГУПС разработан прибор мобильной диагностики опор АК-1 [1], с помощью которого возможно:

77

Апрель – Июнь

определить угол наклона не только железобетонных, но и металлических опор контактной сети с учетом их конусности; сократить время проведения и обработки измерений; обеспечить необходимую точность замера; сформировать базу данных по опорному парку, в том числе координаты, угол наклона, степень разрегулировки опоры контактной сети;

прогнозировать жизненный цикл опоры контактной сети; принять решение о необходимости продления жизненного цикла или замене опоры.

Встроенный в прибор АК-1 лазерный дальномер позволяет сократить время замеров, а специальная программа на мобильном устройстве автоматизирует процесс расчетов. При использовании предлагаемого способа контроля угла наклона опоры влияние ее конусности на точность измерений снижается, так как в расчетах учитываются параметры опоры (в том числе высота и конусность). Полученные результаты фиксируются в журнале измерений и журнале опорного хозяйства и с помощью специального блока передачи данных отправляются на хранение в централизованную базу данных, где на каждую опору формируется паспорт. То есть можно собирать статистические данные по каждой опоре и в динамике оценивать ее поведение. В свою очередь, такая оценка позволяет точнее выявлять причины разрегулировок и прогнозировать срок службы опоры.

К достоинствам прибора АК-1 относится и то, что он может применяться на разных этапах жизненного цикла опоры, в том числе при проведении ее выправки. В настоящее время для последовательного технологического процесса выправки и укрепления опор контактной сети чаще всего используется прибор УВО-1, размещаемый на автомотрисе (рис. 1) или железнодорожной платформе [3], а кроме него — буровые установки с лейтера, домкраты, натяжные муфты [4].

Если при выправке принимается решение о замене опоры из-за податливости грунта, то обязательно предусматривают установку новой опоры в фундамент. Контролировать этот процесс также рекомендуется при помощи прибора АК-1 (с фиксацией координат опоры и заполнением паспорта) [5].

Прибор АК-1 можно использовать и при выправке опор воздушных линий электропередачи (ВЛ), расположенных вдоль железнодорожных магистралей. Выправке подлежат опоры при угле наклона стойки более 1° , т.е. при отклонении верхней точки опоры от вертикального положения более чем на 25–40 см при длине стоек от 16 до 26 м. При отклонении опоры на угол более 3° от вертикали выправка должна производиться немедленно. Выправка промежуточных одностоечных свободностоящих одно- и двухцепных опор, имеющих наклон поперек ВЛ, производится созданием тяжения в сторону, противоположную наклону опоры, при помощи тягового механизма, который обеспечивает плавное увеличение усилия, прилагаемого к тяговому тросу. В качестве тягового механизма может использоваться автомашина с лебедкой или ручная лебедка. Механизм должен быть удален от опоры, подлежащей выправке, на расстояние не менее $1,2$ ее высоты. Тяговый трос крепится на опоре на высоте около 4 м от уровня земли (рис. 2).

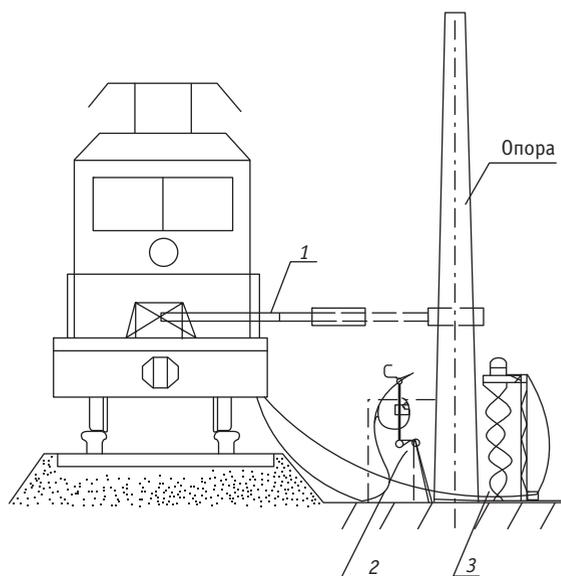


Рис. 1. Устройство для выправки опор УВО-1 на автомотрисе АДМ:
 1 — рабочее положение УВО-1; 2 — механизм трамбования грунта около опоры; 3 — механизм обурирования опоры

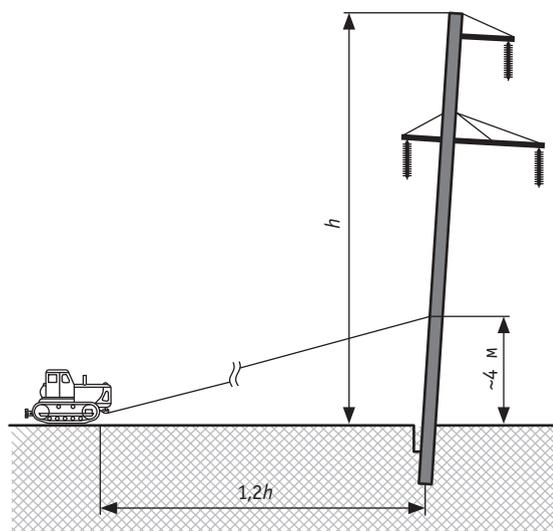


Рис. 2. Схема выправки одностоечной свободностоящей опоры

До начала выправки со стороны, противоположной наклону опоры, откапывается узкий котлован по диаметру стойки глубиной 1,2–1,5 м. Котлован может выполняться вручную или с помощью механизма (экскаватора, буровой машины). При откопке опоры, чтобы исключить ее падение, также рекомендуется параллельно контролировать угол наклона прибором АК-1 (рис. 3).

Таким образом, предлагаемый прибор АК-1 может использоваться совместно с существующими технологиями выправки опор контактной сети и ЛЭП, что позволит повысить точность выправки, обеспечить безопасность работ и продление срока жизненного цикла опор.

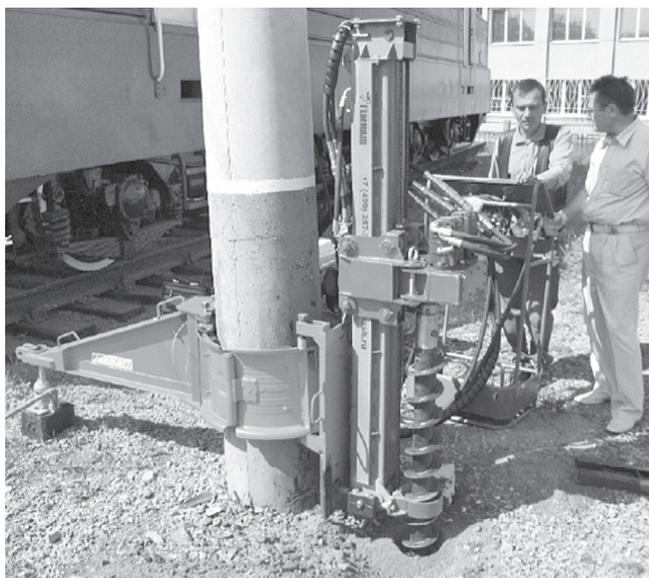


Рис. 3. Этап выправки железобетонной опоры контактной сети

Разработанная методика замера угла наклона опор с помощью прибора АК-1 направлена на сокращение эксплуатационных расходов, т.е. на снижение времени проведения и обработки измерений. Это позволяет выполнять замеры без технологических «окоп» в графике движения поездов и проводить мероприятия по контролю угла наклона согласно требованиям по техническому обслуживанию устройств электроснабжения железных дорог.

К преимуществам устройства АК-1 следует отнести и то, что при его использовании исключается необходимость устанавливать датчики контроля на каждую опору, следовательно, снижаются затраты на техническое обслуживание.

Таким образом, благодаря внедрению новой методики замера угла наклона опор контактной сети и применению мобильных технологий и способов автоматизации устраняются недостатки ранее разработанной приборной базы, что в конечном счете обеспечивает надежность и безопасность движения поездов.

Исследования выполнены при частичной поддержке гранта РФФИ № 16-36-00385.

Литература

1. Аксенов Н. А., Ковалев А. А. Разработка прибора по контролю установочных параметров опоры контактной сети // *Инновационный транспорт*. 2017. № 4 (26). С. 49–53. DOI: 10.20291/2311-164X-2017-4-49-53. ISSN 2311–164X.
2. Ковалев А. А., Галкин А. Г. Совершенствование обслуживания контактной сети с учетом процесса разрегулировок опор // *Наука и транспорт*. 2009. С. 40–43. ISSN 2306–9112.
3. Галкин А. Г., Ковалев А. А., Микава А. В. Применение контракта жизненного цикла для инфраструктурного комплекса системы токосъема // *Транспорт Урала*. 2012. № 3 (24). С. 85–90. ISSN 1815–9400.
4. Аксенов Н. А. Современные способы определения степени разрегулировки опор контактной сети // *Инновационный транспорт*. 2016. № 4 (22). С. 48–51. DOI: 10.20291/2311-164X-2016-4-48-51. ISSN 2311–164X.
5. Ковалев А. А., Окунев А. В. Оценка состояния опор контактной сети на протяжении жизненного цикла // *Инновационный транспорт*. 2015. № 3 (17). С. 23–29. ISSN 2311–164X.

References

1. Aksyonov N. A., Kovalev A. A. Device development under the control of attitudinal parameters of a support of a contact network [Razrabotka pribora po kontrolyu ustanovochnykh parametrov opory kontaktnoy seti] // *Innotrans*. 2017. No. 4 (26). Pp. 49–53. DOI: 10.20291/2311-164X-2017-4-49-53. ISSN 2311-164X.
2. Kovalev A. A., Galkin A. G. Improving the process of contact line maintenance taking into account the process of misalignments of catenary supports [Sovershenstvovanie obsluzhivaniya kontaktnoy seti s uchetom protsesssa razregulirovok opor] // *Science and Transport*. 2009. Pp. 40–43. ISSN 2306-9112.
3. Galkin A. G., Kovalev A. A., Mikava A. V. Using lifecycle contract for infrastructure complex of current collection system [Primenenie kontrakta zhiznennogo tsikla dlya infrastruktornogo kompleksa sistemy tokos"ema] // *Transport of the Urals*. 2012. No. 3 (24). Pp. 85–90. ISSN 1815-9400.
4. Aksyonov N. A. Modern methods of defining the misalignment degree of the overhead network supports [Sovremennyye sposoby opredeleniya stepeni razregulirovki opor kontaktnoy seti] // *Innotrans*. 2016. No. 4 (22). Pp. 48–51. DOI: 10.20291/2311-164X-2016-4-48-51. ISSN 2311-164X.
5. Kovalev A. A., Okunev A. V. Assessment of service ability of catenary supports throughout the life cycle [Otsenka sostoyaniya opor kontaktnoy seti na protyazhenii zhiznennogo tsikla] // *Innotrans*. 2015. No. 3 (17). Pp. 23–29. ISSN 2311-164X.

Объем статьи 0,33 авторских листа

УДК 656.13.021.5: 625.739.4–047.44

Сергей Владимирович Витолин, кандидат технических наук,
доцент кафедры «Изыскания и проектирование транспортных сооружений»
Волгоградского государственного технического университета (ВолгГТУ), Волгоград, Россия

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ДЛИНЫ ОЧЕРЕДИ АВТОМОБИЛЕЙ ПЕРЕД РЕГУЛИРУЕМЫМ ПЕРЕКРЕСТКОМ ПРИ ПЕРЕГРУЗКЕ

Sergey Vladimirovich Vitolin, PhD in Engineering, Associate Professor,
Investigation and Design of Transport Buildings Department, Volgograd State Technical University (VSTU),
Volgograd, Russia

Analysis of changes of the vehicle queue length in front of a signalized intersection at the overload

Аннотация

В статье приведены теоретические основы образования автомобильных очередей на регулируемом перекрестке. Представлены зависимости изменения длины очереди во времени при перегрузке перекрестка. Проверено распределение длины очередей на нормальность. С помощью регрессионного анализа установлена зависимость длины очереди в конце зеленого и в конце красного сигнала светофора. На основе результатов наблюдений и анализа литературных источников выполнена классификация состояния подхода к регулируемому перекрестку в зависимости от степени загрузки и длины очереди. Введено понятие «саморегулирующаяся очередь».

Ключевые слова: длина очереди автомобилей, регулируемый перекресток, степень загрузки.

Summary

Theoretical bases of formation of the vehicle queue at the signalized intersection are given in the paper. Dependences of change of the vehicle queue at an intersection at the overload in time are shown. Distributions of the vehicle queue length to normality are checked. The dependence of the vehicle queue length at the end of green signal and at the end of red signal of the traffic light on the basis of the regression analysis is established. On the basis of observations and the analysis of literature the condition of approach of the signalized intersection depending on extent of loading and vehicle queue length is classified. The concept self-regulating vehicle queue is entered.

Keywords: vehicle queue length, signalized intersection, extent of loading.

DOI: 10.20291/1815-9400-2018-2-80-84

ВВЕДЕНИЕ

Общесистемной проблемой развития транспортной отрасли России признано недостаточное качество услуг [1]. Один из ориентиров национальной транспортной политики нацелен на решение вопросов, связанных с устранением узких мест на улично-дорожной сети (УДС). По отношению к городским УДС это регулируемые перекрестки (РП), определяющие пропускную способность всех автомобильных дорог. Обычно светофоры устанавливаются в местах интенсивных транспортных и пешеходных потоков, чтобы разделить эти потоки во времени там, где для них не хватает пространства (например, с помощью устройства больших кольцевых пересечений или развязок в разных уровнях [2]).

По нашему мнению, содержание российского рекомендательного документа [3] в сравнении с немецким и американским источниками (HBS 2015 [4] и HCM 2010 [5]), а также увеличение загрузки УДС городов РФ свидетельствует о том, что теория управления транспортными потоками на РП для современных условий дорожного движения развита недостаточно.

К числу важнейших составляющих теории управления транспортными потоками на РП относится оценка длины очереди. Данные, полученные в результате такой оценки, позволяют эффективнее использовать существующие параметры регулируемых перекрестков и перегонов, а также точнее выбирать параметры проектируемых полос движения на РП. В настоящее время в России уже внедряются элементы интеллектуальных транспортных систем, наиболее прогрессивные технологии управления которыми основываются на оценке и прогнозировании длины очередей перед РП.

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ОБРАЗОВАНИЯ И РАЗЪЕЗДА ОЧЕРЕДИ АВТОМОБИЛЕЙ НА РЕГУЛИРУЕМОМ ПЕРЕКРЕСТКЕ

При низкой степени загрузки подхода к РП очередь автомобилей, которая образуется за запрещающим сигналом светофора, полностью разъезжается в течение времени действия разрешающего сигнала (рис. 1). Критерием того, что степень

загрузки подхода к РП менее 1, служит отсутствие образования остаточной очереди (в конце зеленого сигнала). Даже если очередь имеет большую протяженность, но разъезжается за один цикл регулирования, это не составляет проблемы.

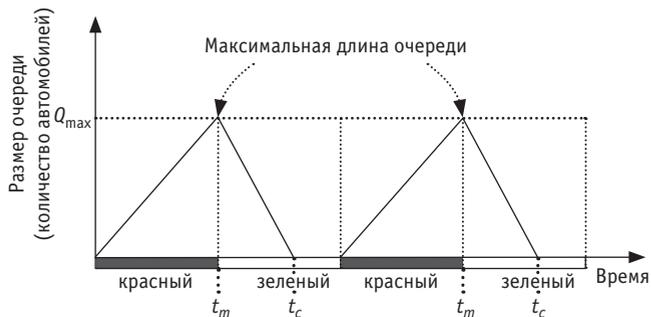


Рис. 1. Изменение длины очереди для ненасыщенных условий (низкая степень загрузки)

Показателем низкого уровня обслуживания (уровня удобства движения) на РП будет регулярное образование остаточной очереди на подходе к нему. Если степень загрузки подхода к РП более 1, длина очереди от цикла к циклу увеличивается (рис. 2). Поэтому состояние подхода к РП со степенью загрузки более 1 можно считать перегрузкой [6].

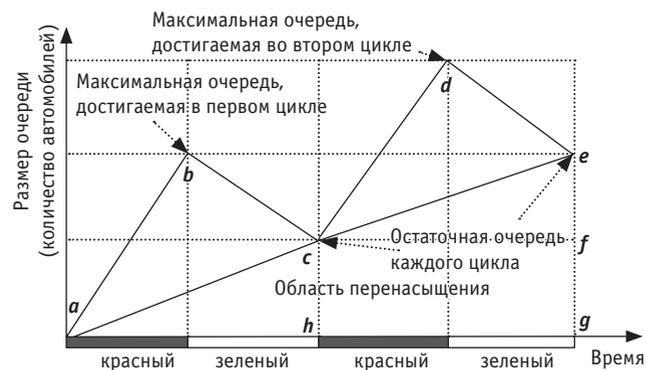


Рис. 2. Изменение длины очереди для перенасыщенных условий (степень загрузки более 1)

Длинная очередь становится существенной проблемой в двух следующих случаях.

1. Очередь автомобилей растягивается до предыдущего перекрестка (рис. 3) и делает его для поворачивающего транспорта периодически не проезжаемым. Для сокращения риска образования такой очереди необходимо, чтобы ее максимальная длина (в конце красного сигнала светофора) была меньше расстояния до предыдущего перекрестка.

2. Очередь длиннее, чем зона ожидания для соответствующей сигнальной группы, и препятствует транспортным средствам потоков других сигнальных групп (того же подхода к РП) достигнуть стоп-линии по предусмотренным для них полосам движения. Соответственно в данных условиях мешающие проезду автомобили препятствуют достижению максимальной пропускной способности подхода к РП. Следовательно, дли-

на очереди в конце времени действия запрещающего сигнала не должна выходить для всех сигнальных групп за зону накопления, предусмотренную для данного направления, чтобы не препятствовать движению других транспортных потоков того же подхода (рис. 4).



Рис. 3. Очередь длиннее области видимости (а также сетевой затор — препятствия разъезду на соседнем перекрестке)

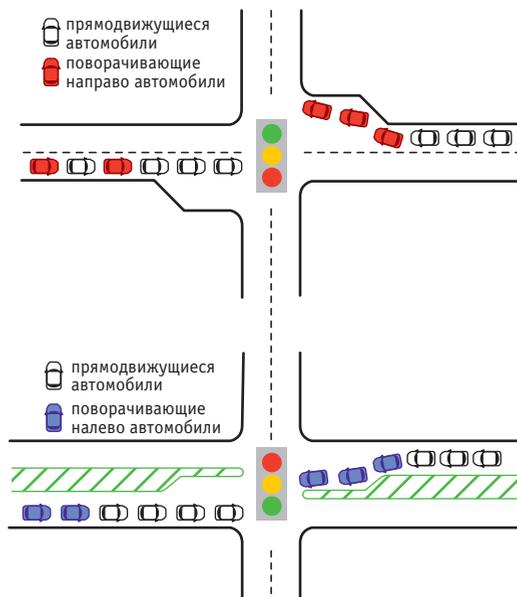


Рис. 4. Эффект «бутылочного горлышка» на регулируемом перекрестке при недостаточной длине коротких полос для поворота автомобилей [7]

Рекомендуемым значением надежности против возникновения очереди избыточной длины является 95 %. Если это условие не соблюдается, то пропускная способность будет снижаться. Сокращение длины очереди может достигаться за счет уменьшения длительности цикла регулирования.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ НА ПОДХОДЕ К РЕГУЛИРУЕМОМУ ПЕРЕКРЕСТКУ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕГРУЗКИ (ПЕРЕНАСЫЩЕНИЯ)

Поскольку проблемным является именно состояние перегрузки подхода к РП, для наблюдений был выбран период, когда остаточная очередь (очередь в конце разрешающего сигнала светофора) образуется в течение длительного времени.

Наблюдения на подходе к РП ул. Александра — ул. Дружбы в городе Волжском проводились 29.03.2018 г. Длительность цикла регулирования составляла 98 с, доля разрешающего сигнала для рассматриваемого подхода в цикле — 0,31. Оценка длины очереди (рис. 5) выполнялась на основе анализа изменения входящего и выходящего потока [6] по одной полосе движения подхода к РП, представленного на рис. 3). На рассматриваемом подходе наблюдался эффект саморегулирования длины очереди: автомобили, которые хотели повернуть направо на РП, объезжали очередь через парковочную площадку гипермаркета. В связи с этим предлагается ввести понятие «саморегулирующаяся очередь», т.е. очередь, при достижении которой водители меняют планируемый маршрут движения: при возможности (наличие альтернативных маршрутов для объезда очереди) и вероятности длительного ожидания (более одного цикла регулирования) они ее объезжают.

На рис. 5 показано изменение длины очереди автомобилей на рассматриваемом подходе к РП во времени. Коэффициент корреляции для полиномиальной линии тренда средней длины очереди составляет около 0,6 (коэффициент детерминации 0,3545).

Закономерности изменения длины очереди в конце зеленого и в конце красного сигнала в течение 50 циклов регулирования в сравнении представлены на рис. 6.

На основе анализа закономерности можно сделать вывод, что очереди в конце зеленого и в конце красного сигнала в условиях перегрузки связаны между собой (параллельность линий тренда с высокими коэффициентами корреляции).

Проверка на нормальность распределения длины очереди в конце зеленого и в конце красного сигнала в период перегрузки проводилась с помощью программы Statistica 6.0. В табл. 1 представлены статистические показатели оценки длины очереди за рассмотренный период.

Как видно из табл. 1, для очереди в конце и зеленого, и красного сигнала светофора среднее арифметическое и медиана близки, коэффициент асимметрии положителен и относительно близок нулю. Сравнение коэффициента асимме-

трии и стандартной ошибки асимметрии, а также эксцесса со стандартной ошибкой эксцесса показывает, что гипотеза о нормальности не отклоняется (по модулю эти параметры близки).

Анализ нормальных вероятностных графиков длины очередей (рис. 7 и 8) также позволяет говорить о нормальности распределения данных параметров.

На рис. 9 представлена регрессионная зависимость длины очереди в конце зеленого сигнала от длины очереди в конце красного сигнала. Коэффициент корреляции 0,86, уровень надежности 0,95. Уравнение регрессии имеет вид

$$y = 9,49 + 0,79 \cdot x.$$

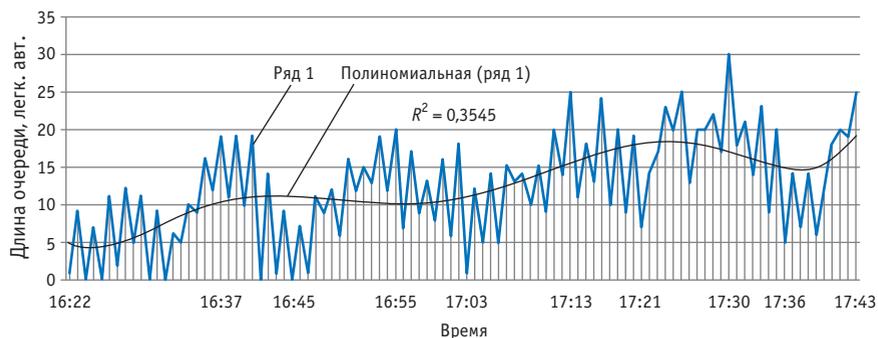


Рис. 5. Изменение длины очереди во времени при перегрузке подхода к регулируемому перекрестку

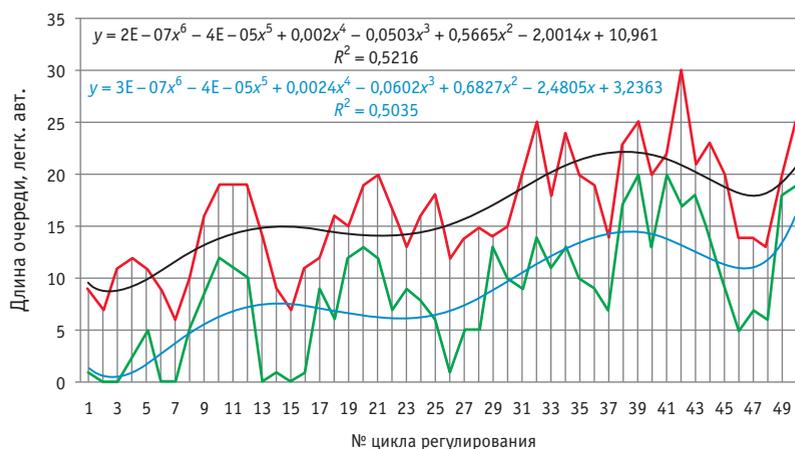


Рис. 6. Изменение длины очереди в конце зеленого и в конце красного сигнала в течение 50 циклов регулирования:
— $N_{\text{кон.зел}}$; — $N_{\text{кон.крас}}$
— полиномиальная ($N_{\text{кон.зел}}$); — полиномиальная ($N_{\text{кон.крас}}$)

Таблица 1

Оценка параметров длины очереди по результатам наблюдений

Очередь	Среднее арифметическое	Медиана	Коэффициент асимметрии	Стандартная ошибка асимметрии	Эксцесс	Стандартная ошибка эксцесса
В конце зеленого сигнала светофора	8,6	9,0	0,18	0,34	-0,79	0,66
В конце красного сигнала светофора	16,3	16,0	0,18	0,34	-0,36	0,66

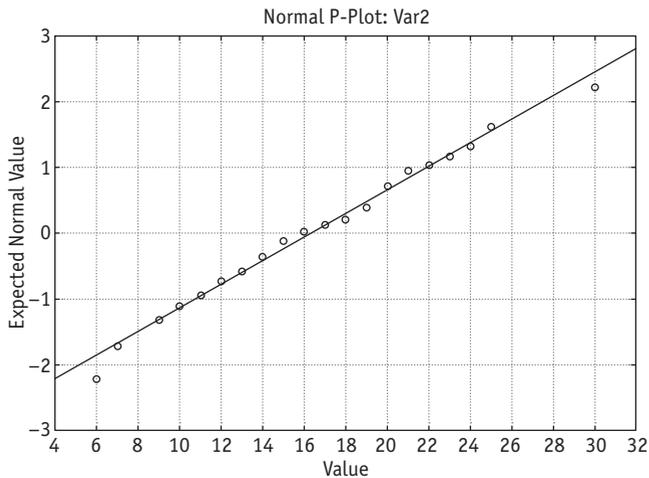


Рис. 7. Нормальный вероятностный график длины очереди в конце красного сигнала светофора

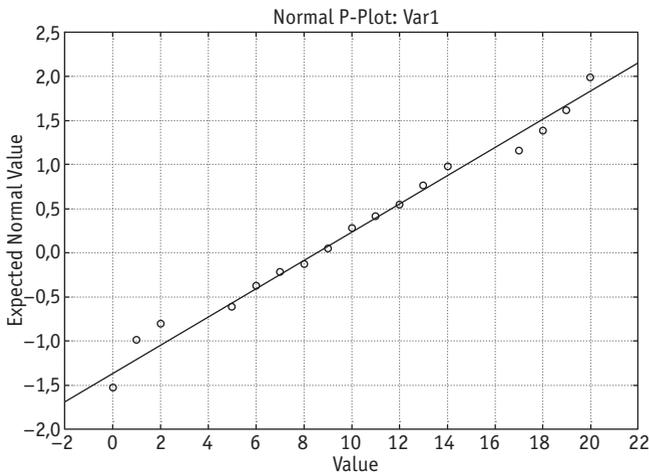


Рис. 8. Нормальный вероятностный график длины очереди в конце зеленого сигнала светофора

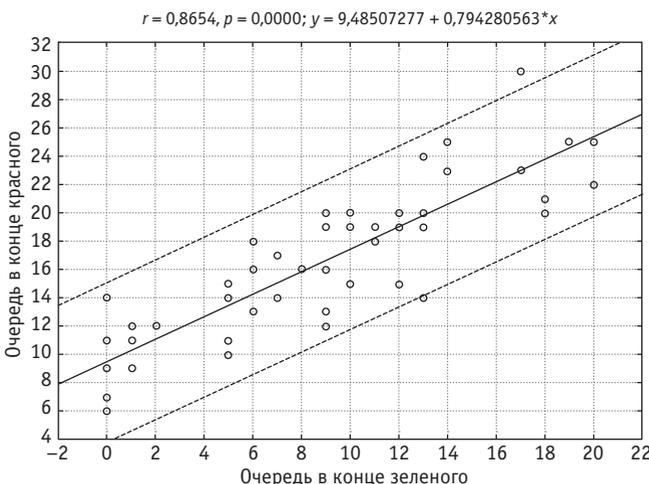


Рис. 9. Зависимость длины очереди в конце зеленого сигнала светофора от длины очереди в конце красного сигнала светофора

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что в условиях перегрузки зависимость изменения длины очередей в конце зеленого и в конце красного сигналов связаны друг с другом. Коэффициент корреляции высокий. Изменение длины этих очередей не противоречит нормальному закону распределения.

Введено понятие «саморегулирующаяся очередь». Это очередь, при достижении которой водители меняют планируемый маршрут движения: при возможности (наличие альтернативных маршрутов для объезда очереди) и вероятности длительного ожидания (более одного цикла регулирования) они ее объезжают очередь (в рассматриваемом примере — через парковку гипермаркета или через местный проезд).

На основании анализа теории образования очередей перед РП и натурных наблюдений предложена классификация состояния подхода к РП в зависимости от степени загрузки:

неполная загрузка — пропускная способность больше входящей интенсивности движения, отсутствие остаточной очереди, наличие резервов пропускной способности;

равновесие — максимальное использование пропускной способности (пропускная способность равна входящей интенсивности движения, отсутствие остаточной очереди или кратковременная малая очередь, отсутствие резервов пропускной способности);

перегрузка — пропускная способность меньше входящей интенсивности движения, постоянная значительная или растущая очередь автомобилей.

Очередь автомобилей перед РП рекомендуется классифицировать по следующим параметрам:

размеру: минимальная (в конце зеленого сигнала) — максимальная (в конце красного сигнала);

состоянию: растянутая — плотная;

динамике: увеличивающаяся — постоянная — уменьшающаяся;

месту расположения: на подходе к РП, на РП, на выезде с РП.

В условиях перегрузки подхода к РП не следует допускать образования очереди автомобилей длиной до соседнего нерегулируемого или регулируемого перекрестка (чтобы избежать сетевого затора). Повысить пропускную способность РП и сократить длину очередей можно, например, путем устройства дополнительной короткой полосы.

Литература

1. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года : распоряжение правительства Рос. Федерации от 22.11.2008 г. № 1734-р [Электронный ресурс]. URL: http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?id=3771&layer_id=5104&S#5490 (дата обращения: 16.02.2018).
2. Виталин С. В. Совершенствование транспортных потребительских свойств изолированных регулируемых перекрестков улично-дорожной сети города : дис. ... канд. техн. наук. Волгоград, 2014.
3. Методические рекомендации по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения. Организация дорожного движения на регулируемых пересечениях / ОАО «Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта». М., 2017.
4. Handbuch für die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen (HBS 2015) / Kommission Bemessung von Straßenverkehrsanlagen. Köln, Ausgabe 2015. 300 p.
5. Highway Capacity Manual (HCM2010) / 5th ed.; Four-volume format. Washington, D.C. : Transportaion Research Board (TRB) of the National Academies, 2010. 311 p.
6. Виталин С. В. Управление транспортными потоками при перегрузках на улично-дорожной сети города // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. Т. 21. № 12. С. 211–219. DOI: 10.21285/1814-3520-2017-12-211-219. ISSN 1814-3520.
7. Виталин С. В. Значение длины очереди автомобилей перед светофорным объектом и современные подходы к ее оценке // Вестник СибАДИ. 2016. № 4 (50). С. 53–59. ISSN 2071-7296.

References

1. Transport strategy of the Russian Federation for the period till 2030 : [Transportnaya strategiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda] : approved by the Order of the Government of the Russian Federation of 22.11.2008 No. 1734-r [Electronic resource]. URL: http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?id=3771&layer_id=5104&S#5490 (access date: 16.02.2018).
2. Vitolin S. V. Improvement of transport consumer properties of the isolated adjustable intersections of a street road network of the city [Sovershenstvovanie transportnykh potrebitel'skikh svoystv izolirovannykh reguliruemykh perekrestkov ulichno-dorozhnoy seti goroda] : PhD in Engineering Thesis. Volgograd, 2014.
3. Guidance on developing and realization of measures on traffic management. Traffic management at signalized intersections [Metodicheskie rekomendatsii po razrabotke i realizatsii meropriyatii po organizatsii dorozhnogo dvizheniya. Organizatsiya dorozhnogo dvizheniya na reguliruemykh peresecheniyakh] / JSC «State Scientific-Research Institute of Motor Transport». M., 2017.
4. Handbuch fuer die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen (HBS 2015) / Kommission Bemessung von Straßenverkehrsanlagen. Köln, Ausgabe 2015. 300 p.
5. Highway Capacity Manual (HCM2010) / 5th ed. ; four-volume format. Washington, D.C. : Transportaion Research Board (TRB) of the National Academies, 2010. 311 p.
6. Vitolin S. V. Traffic control in overloaded city road networks [Upravlenie transportnymi potokami pri peregruzkakh na ulichno-dorozhnoy seti goroda] // Proceedings of Irkutsk State Technical University. 2017. Vol. 21. No. 12. Pp. 211–219. DOI: 10.21285/1814-3520-2017-12-211-219. ISSN 1814-3520.
7. Vitolin S. V. The significance of the vehicle queue lenght in front of signalized object and modern approaches of its estimation [Znachenie dliny ocheredi avtomobiley pered svetofornym ob'ektom i sovremennye podkhody k ee otsenke] // Vestnik SibADI. 2016. No. 4 (50). Pp. 53–59. ISSN 2071-7296.

Объем статьи 0,5 авторских листа

Уважаемые читатели и авторы журнала «Транспорт Урала»!

Если вам нравится наш журнал, вы можете оказать содействие в его развитии, перечислив денежные средства по реквизитам:

Ассоциация выпускников УЭМИИТ-УрГУПС

ИНН-КПП 6670317893/667001001

ОГРН 1156600001470

620075, Свердловская обл., г. Екатеринбург, ул. Шевченко, д. 20, помещение 1

Р/с 40703810863010000192

в ПАО КБ «УБРИР» филиал ССБ

к/с 30101810900000000795

БИК 046577795

Назначение платежа: «Пожертвование для поддержки научных журналов УрГУПС».

Ваша финансовая поддержка позволит нам увеличить число публикаций, повысить индексы цитирования журнала и наших авторов.

Уважаемые руководители инновационных компаний и предприятий!

Предлагаем вам услуги по продвижению вашей продукции через сеть Ассоциации выпускников УЭМИИТ-УрГУПС.

Ассоциация выпускников УЭМИИТ-УрГУПС — это кооперация большого числа неравнодушных людей различных сфер деятельности, окончивших наш университет.

Кроме того, предлагаем услуги по подбору молодых специалистов, по организации поиска решений прикладных и научных задач в рамках диссертационных работ, выполняемых в УрГУПС.

Всю необходимую информацию вы можете получить по тел. (343) 221-24-67 или на сайте <http://www.usurt.ru/vypusknikam/assotsiatsiya-vypusnikov-urgups>

Извещение	<p>Получатель: Ассоциация выпускников УЭМИИТ-УрГУПС КПП: 667001001 ИНН: 6670317893 ОКТМО: 65701000 Р/сч.: 40703810863010000192 в: ПАО КБ «УБРИР» филиал ССБ БИК: 046577795 К/сч.: 30101810900000000795 Код бюджетной классификации (КБК): _____ Платеж: Пожертвование для поддержки научных журналов УрГУПС Плательщик: _____ Адрес плательщика: _____ ИНН плательщика: _____ № л/сч. плательщика: _____ Сумма: _____ руб. ____ коп. Подпись: _____ Дата: «___» _____ 2018 г.</p>
Квитанция	<p>Получатель: Ассоциация выпускников УЭМИИТ-УрГУПС КПП: 667001001 ИНН: 6670317893 ОКТМО: 65701000 Р/сч.: 40703810863010000192 в: ПАО КБ «УБРИР» филиал ССБ БИК: 046577795 К/сч.: 30101810900000000795 Код бюджетной классификации (КБК): _____ Платеж: Пожертвование для поддержки научных журналов УрГУПС Плательщик: _____ Адрес плательщика: _____ ИНН плательщика: _____ № л/сч. плательщика: _____ Сумма: _____ руб. ____ коп. Подпись: _____ Дата: «___» _____ 2018 г.</p>

Подписка на 2018 год.

Периодичность — 4 номера в год.

ф. СП-1

✂

АБОНЕМЕНТ

на ~~газету~~
журнал

46463

(индекс издания)

Транспорт Урала

(наименование издания)

Количество комплектов:

на 2018 год по месяцам:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
						X	X	X	X	X	X

Куда

(почтовый индекс)

(адрес)

Кому

(фамилия, инициалы)

ДОСТАВОЧНАЯ КАРТОЧКА

на ~~газету~~
журнал

46463

(индекс издания)

Транспорт Урала

(наименование издания)

Стоимость	подписки	руб. ____ коп.	Количество комплектов:
	переадресовки	руб. ____ коп.	

на 2018 год по месяцам:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
						X	X	X	X	X	X

Куда

(почтовый индекс)

(адрес)

Кому

(фамилия, инициалы)

Научно-технический журнал «Транспорт Урала» DOI:10.20291/1815-9400

№ 2 (57), 2018 год

Издается с июня 2004 г. Выходит 1 раз в квартал

Подписной индекс в общероссийском каталоге «Почта России» — 46463

Свидетельство о регистрации средства массовой информации Роскомнадзора
ПИ № 77-18098 от 27 мая 2004 г.

Свидетельство на товарный знак (знак обслуживания) № 577040.

Зарегистрировано в Государственном реестре товарных знаков
и знаков обслуживания Российской Федерации 6 июня 2016 г.

Учредитель и издатель:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Уральский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО УрГУПС)

Адрес учредителя и издателя:

620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66

Адрес редакции:

620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66.

Тел. (343) 221-24-90

<http://www.usurt.ru/transporturala>

e-mail: EPupova@usurt.ru

Главный редактор:

Александр Геннадьевич Галкин

Научный редактор:

Александр Эрнстович Александров

Выпускающий редактор и корректор:

Елена Семеновна Пупова,

тел. (343) 221-24-90, 8-912-61-07-229,

e-mail: EPupova@usurt.ru

Верстка и дизайн:

Андрей Викторович Трубин

Журнал включен ВАК в перечень рецензируемых научных изданий,
в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций
на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

Дата выхода в свет 29.06.2018

Тираж 250 экз. Формат 60×90/8

Цена 300,8 руб.

Отпечатано в соответствии с качеством предоставленного оригинал-макета
в типографии ООО «АЛЕКС ПРИНТ».

394007, г. Воронеж, Ленинский проспект, д. 94, кв. 52.

Тел./факс: (473) 290-45-17. E-mail: alexey-print@mail.ru

Заказ № 5448

© ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения», 2018