

НАУКА И ТЕХНИКА ТРАНСПОРТА



ISSN 2074-9325



Транспорт

Информатика, вычислительная техника и управление

Безопасность деятельности человека

2021 2

Научно-технический и производственный журнал

Входит в перечень изданий, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук по следующим научным специальностям:

- 05.13.01 — Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям) (технические науки);
- 05.13.06 — Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям) (технические науки);
- 05.22.01 — Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте (технические науки);
- 05.22.06 — Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог (технические науки);
- 05.22.07 — Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация (технические науки);
- 05.22.08 — Управление процессами перевозок (технические науки);
- 05.26.01 — Охрана труда (по отраслям) (технические науки).

Адрес редакции:

125315, г. Москва, ул. Часовая, д. 22/2
Тел.: (495) 649-19-00 доб. 385.
125315, Chasovaya Str., 22/2, Russia, Moscow
Тел.: (495) 649-19-00 ext: 385. Fax: (499) 151-18-37

E-mail: nttmag@rgotups.ru,
<http://ntt.rgotups.ru>

Подписной индекс в электронном каталоге агентства «Роспечать» — 69960.

Издатель: РУТ (МИИТ)
Тел.: (495) 649-19-00 доб. 385.
Журнал выходит 4 раза в год.
Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС77-48299 от 24 января 2012 г.
Выходит с 2002 года.

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

Редакция не несет ответственности за представленные материалы. Мнение редакции может не совпадать с мнением автора. Рукописи рецензируются и не возвращаются. На 1-й, 3-й страницах обложки фото Андрея Кузьмичева (zen.yandex.ru/frocush), на 2-й, 4-й — фото Дмитрия Тихонова.

Отпечатано РОАТ РУТ (МИИТ):
125315, Москва, Часовая ул., 22/2

Подписано в печать 15.06.2021.

Усл. печ. л. 13,5 Тираж 60 экз.
Формат 60×90¹/₈. Тип. зак. 5

© Наука и техника транспорта, 2021



Редакционный совет:

д-р техн. наук, проф. Апатцев В.И. — председатель;
д-р техн. наук, проф. Бугреев В.А. — зам.председателя;
д-р техн. наук, проф. Горелик А.В.;
д-р техн. наук, проф. Космодамианский А.С.;
д-р техн. наук, проф. Безродный Б.Ф.;
д-р техн. наук, проф. Никитин А.Б.;
д-р ф.-м. наук, проф. Локтев А.А.;
д-р техн. наук, доц. Сычев В.П.;
д-р техн. наук, проф. Мондрус В.Л.;
д-р техн. наук, проф. Мкртычев О.В.;
д-р техн. наук, проф. Аксёнов В.А.;
д-р техн. наук, проф. Шварцбург Л.Э.;
д-р техн. наук, проф. Николайкин Н.И.;
д-р техн. наук, проф. Сидоренко В.Г.;
д-р техн. наук, проф. Резер С.М.;
д-р экон. наук, проф. Шкурина Л.В.;
д-р экон. наук, проф. Мирошниченко О.Ф.;
д-р экон. наук, проф. Белоусова Н.И.

Главный редактор
В.И. Апатцев

Ответственный редактор

В.А. Бугреев

Дизайн и верстка

В.А. Кочнев

Технический редактор

Д.Н. Тихоночев

Английский перевод

М.Л. Окулова

2' 2021

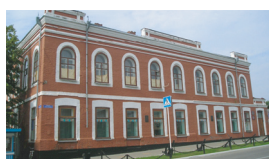
Транспорт



Е.П. Корольков, А.И. Бондаренко

Математическая модель поперечных колебаний тележки с учетом неровности пути

8



В.П. Седякин, П.А. Гелюх, А.А. Локтев

Развитие путей сообщения как фактор геополитики и регионального туризма: методологические вопросы и современное состояние

13



Л.А. Баранов, В.Г. Сидоренко, Е.П. Балакина, Л.Н. Логинова

Интеграционный подход в обучении оперативных работников городских рельсовых транспортных систем

22



К.А. Сергеев, М.Н. Пинт, О.И. Мироненко

Обзор методов расчетов котлов цистерн на динамические нагрузки

32



А.В. Горелик, Н.В. Романов, Г.Г. Курашева

Эффективность контракта жизненного цикла в хозяйстве железнодорожной автоматики и телемеханики

35



О.И. Веревкина, О.Н. Попов, В.В. Денисов

Алгоритмы автоматизации мероприятий снижения рисков нарушений безопасности движения поездов в хозяйстве пути

39



Д.И. Бодриков, А.А. Воробьев, В.П. Смирнов, Т.Н. Фадейкин

Имитационная модель функционирования станции стыкования

45



А.Д. Сиразетдинова, М.В. Фуфачева

Методы оптимизации управления и организации перевозок на железнодорожном транспорте

50



А.А. Локтев, А.В. Сычева, В.П. Сычев

Моделирование работы бесстыкового пути по критерию обеспечения его устойчивости

57



А.С. Космодамианский, В.И. Воробьев, О.В. Измеров, М.Ю. Капустин, Д.Н. Шевченко

Развитие классификации механической части тяговых приводов железнодорожных локомотивов

63

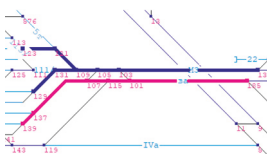


В.В. Артемьева, А.В. Потапов

Автоматизированная система управления мостотоннелем с консольно-поворотной системой погрузки – разгрузки

70

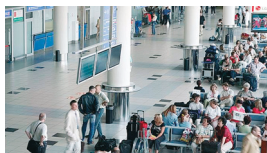
Информатика, вычислительная техника и управление



П.А. Козлов, В.П. Козлова, А.А. Пархоменко

Построение методов расчета железнодорожных станций на основе системного подхода

75



Е.В. Копылова

Адаптация метода организации пассажиропотоков для крупных агломераций

81

Безопасность деятельности человека



С.Ю. Алехин, В.Б. Шевченко, О.С. Сачкова

Результаты ресурсных испытаний насосов вакуумных ЭЧТК пассажирских вагонов

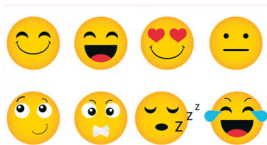
87



Л.А. Леванчук, В.А. Аксёнов

Перспективные направления улучшения условий труда работников локомотивных бригад

91



О.С. Локтева, А.М. Завьялов, Д.А. Локтев

Снижение влияния человеческого фактора на основе определения эмоционального состояния работника путем обработки его изображений

95



О.С. Сачкова, В.В. Самойлов, А.М. Елин

Исследования по оценке эффективности и безопасности биологического препарата для пылеподавления

101

Transport

E.P. Korol'kov, A.I. Bondarenko

Mathematical model of trolley transverse vibrations taking into account track irregularities. **8**

The output of the mathematical model of transverse vibrations of the trolley is given, which takes into account track irregularities of a certain type, restoring forces due to the curvilinear profile of the rolling surface of the wheels and refining the formula for the transverse creep calculating.

Key words: trolley, track irregularities, model, forces, creep, vibrations, equations, stability

V.P. Sedyakin, P.A. Gelyukh, A.A. Loktev

Development of railways as a factor of geopolitics and regional tourism: methodological issues and current status **13**

The article considers the development of transport main lines in terms of the dependence of state actions on the influence of geographical factors on the state and evolution of the economic, political and social systems of society. The authors study the current status of railway stations in some towns.

Key words: transport routes, railway stations, transportation direction, geopolitics factors, foreign policy

L.A. Baranov, V.G. Sidorenko, E.P. Balakina, L.N. Loginova

Integration approach in the training of operational employees of urban rail transport systems . . . **22**

The authors consider the main approaches to the training of the operational personnel involved in traffic control of urban rail transport systems. The article describes the methods of assessment of knowledge and skills in traffic operation and the occurrence of emergencies. The structure of the integrated automated system for training and knowledge assessment of operational personnel of urban rail transport systems is proposed.

Key words: urban rail transport systems, integrated approach, training, operational personnel

K.A. Sergeev, M.N. Pint, O.I. Mironenko

Overview of computing methods of tank boilers for dynamic loads **32**

The article provides the computing methods of tank boilers for dynamic loads. The authors analyzed the researches, textbooks and manuals in the field of car dynamics. It was revealed that at the present stage, the finite element method is most often used and implemented in software packages to solve complex problems.

Key words: rolling stock, tank boiler, dynamic loads, finite element method, analytical mechanics

A.V. Gorelik, N.V. Romanov, G.G. Kurasheva

Efficiency of life cycle contract in railway automation and telemechanic. **35**

To decide the feasibility of using outsourcing technologies and a life cycle contract for the production process of technical operation of railway automation and telemechanic systems, the authors propose a method to assess the localization level of production of railway automation systems at the operating facility of the railway line. The localization level is calculated based on the life cycle cost of these systems.

Key words: railway automation and telemechanic systems, outsourcing, life cycle contract

O.I. Verevkina, O.N. Popov, V.V. Denisov

Algorithms for automation of measures to decrease risks of train operation safety violations in the track facilities **39**

The article is focused on the development of algorithms for automation the selection of measures to decrease the risks of train operation safety violations in the track structure subsystem. The authors present the basis of schemes and algorithms for the development of an automated system that clarifies the methods of evaluating and contributions of factors necessary for the development of more accurate corrective measures.

Key words: train operation safety, transportation process, risk, factor, contribution, algorithm, digitalization, scheme

D.I. Bodrikov, A.A. Vorobyov, V.P. Smirnov, T.N. Fadeikin **45** Simulation model of current change station operation

The authors have developed a simulation model of the operation of electric locomotives in a section with a change in the type of current, it allows assessing and optimizing the operation of the current change station when the intensity of train traffic varies.

Key words: current change station, simulation modelling, electric locomotive, total specific losses, locomotive fleet

A.D. Sirazetdinova, M.V. Fufacheva **50** Optimization methods of organization and operation of railway transportation.

The article considers the methodology for organizing and operation of the transportation process to improve the transportation process and increase the productivity of rail transport. This methodology is based on a three-level approach to railway operation, taking into account the main indicators of railway operation and reducing accidental factors and the human impact on traffic safety.

Key words: capacity, traffic safety, public tracks, non-public tracks

A.A. Loktev, A.V. Sycheva, V.P. Sychev **57** Modelling of the operation of long-welded rails according to ensuring its stability criterion.

The article analyzes various methods of estimating the stability of long-welded rails and proposes to supplement these methods with a mathematical apparatus of wave theory.

Key words: track structure, temperature stresses, dynamic impact, track defects, boundary conditions

A.S. Kosmodamiansky, V.I. Vorobyov, O.V. Izmerov, M.Yu. Kapustin, D.N. Shevchenko **63** Classification development of mechanical part of railway locomotive traction drives

The article focuses on the problem of creating methods of searching for new patentable designs of locomotive traction drives. The previously proposed classification of traction drives does not meet the tasks, therefore, an additional level of grouping by integration degree was added to the new classification.

Key words: problems of creation of new technology, knowledge theory, synthesis of technical solutions, classification

V.V. Artemyeva, A.V. Potapov **70** Automated engine control system with cantilever-rotary loading-unloading system

The article presents an automated control system for a hanging bridge and tunnel with a cantilever-rotary loading-unloading system, through which its operation will be optimized. This system can be used to improve the quality and quantity of freight traffic along the bridge and tunnel.

Key words: Northern Latitudinal Railway, bridge and tunnel, automated control system

Computer science and control

P.A. Kozlov, V.P. Kozlova, A.A. Parkhomenko **75** Construction of computing methods of railway stations based on system approach

The article reveals the problem of correct constructing of computing methods of railway stations. The authors introduce a new principle of correctness — the coincidence of the functional role of the calculation element in reality and the model. For a station, the functional role is the structural support of the process operation. And the paper considers the existing computing methods of yards and yards necks. The ways of their improvement are proposed.

Key words: computing method, functional role, yard, yard neck, process operation

E.V. Kopylova **81** Adaptation of passenger flow organization method for large agglomerations

The article analyzes the features of passenger flow and the organization of passenger transportation in agglomerations-millionaires. The author proposes variants of the application of the method of passenger traffic organization for solving practical problems in large transport hubs.

Key words: passenger flow, optimization, model, dynamic coordination, passenger traffic organization

Safety of human activity

S.Yu. Alekhin, V.B. Shevchenko, O.S. Sachkova

Results of life cycle tests of vacuum ESTS pumps of passenger cars. **87**

The article presents the results of comparative tests of vacuum pumps of various brands used in environmentally safe toilet complexes (ESTC) of passenger cars to determine the best sample according to the following characteristics: reliability, operational parameters.

Key words: vacuum pump, environmentally safe toilet complex, vacuum system, inter-repair period

L.A. Levanchuk, V.A. Aksyonov

Promising ways of improvement of locomotive crew working conditions **91**

The authors have developed a regression formula to predict the health risk of locomotive crew workers at present and in the future when implementing measures to reduce the noise level from locomotives. The article shows the high efficiency of the planned measures when assessing the risk of sensorineural hearing loss — one of the most common occupational diseases of locomotive crew workers.

Key words: locomotive crew workers, working conditions, risk, production-related diseases

O.S. Lokteva, A.M. Zavyalov, D.A. Loktev

Reducing the influence of the human factor based on determining the emotional state of the employee by processing his images **95**

The mathematical and algorithmic support presented in the article allows detecting the worker's emotions, their changes, the tiredness degree, and the reaction to various context effects. The proposed solutions can be implemented in software and hardware system for the development of the correct behavioural patterns of a person with participation as an operator of various complexes and technological processes.

Key words: safety of production processes, human factor, emotion classification, facial expression

O.S. Sachkova, V.V. Samoilov, A.M. Elin

Estimate researches on efficiency and safety of a biological dust suppression preparation . . . **101**

The authors have carried out the researches to estimate the efficiency and safety of the biological preparation agglomerating hydro-sorption emulsifier. The article shows the advantages of this preparation in comparison with other dust suppression methods.

Key words: dust suppression, labour safety, coal, charcoal, efficiency estimate

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОПЕРЕЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ ТЕЛЕЖКИ С УЧЕТОМ НЕРОВНОСТИ ПУТИ



Е.П. Корольков



А.И. Бондаренко

Приводится вывод математической модели поперечных колебаний тележки, в которой учтены неровности пути определенного вида, возвращающие силы, обусловленные криволинейностью профиля поверхности катания колес и уточнением формулы вычисления поперечного крипа.

Ключевые слова: тележка, неровности пути, модель, силы, крип, колебания, уравнения, устойчивость

Поставим задачу откорректировать математическую модель двухосной тележки с жесткой рамой, колесные пары (КП) которой имеют колеса с криволинейной поверхностью катания и возмущением, вызванным геометрическими неровностями рельсов. В качестве неровности применим модель, разработанную профессором Е.П. Корольковым. В предложенной модели каждый из рельсов имеет недопустимые отклонения от нормативного состояния, но в совокупности замеры путеизмерительной машиной показывают, что движение поездов возможно без каких-либо ограничений. В предложенной модели каждый рельс описывается синусоидальной неровностью, но сдвинутой по фазе, такой, что все отступления, контролируемые путеизмерительной машиной, не превышают величин отступлений 2 степени [1;2]. Также предполагается одинаковость уровней нитей и скорость движения пассажирских поездов 101–140 и товарных — 81–90 км/ч.

Рассмотрим модель поперечных колебаний тележки с учетом неровностей рельсовых нитей, указанных выше.

Для описания поперечных колебаний тележки применим принцип Даламбера.

Начало подвижной системы координат, движущейся со скоростью тележки, расположим на оси пути: ось Ox совместим с осью пути, а ось Oy — ей перпендикулярно. Будем считать, что тележка движется по прямому участку пути с постоянной скоростью V и рассматривать ее движение в подвижной системе координат (рис. 1, 2) как тела с двумя степенями свободы [3]: перемещение поперек пути y и вращение относительно вертикальной оси ψ , проходящей через центр масс тележки. Будем также считать давление P каждого колеса на рельсы постоянным и одинаковым для всех колес при любых перемещениях тележки.

Проведем вывод дифференциальных уравнений, описывающих поперечные колебания тележки с жест-

Корольков Евгений Павлович, доктор технических наук, профессор кафедры «Высшая и вычислительная математика» Академии базовой подготовки Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: динамика подвижного состава железнодорожного транспорта, математическое моделирование динамических систем. Автор более 90 научных работ. Имеет один патент на изобретение.

Бондаренко Анатолий Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Теоретическая механика» Института пути, строительства и сооружений Российского университета транспорта (ИПСС РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: уменьшение износа гребней колес железнодорожного транспорта и метрополитена. Автор 31 научной работы.

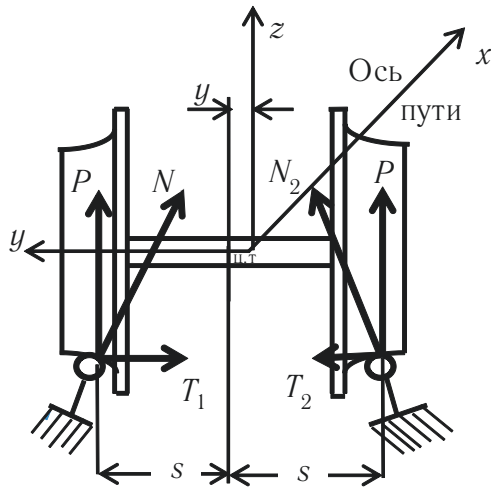


Рис. 1

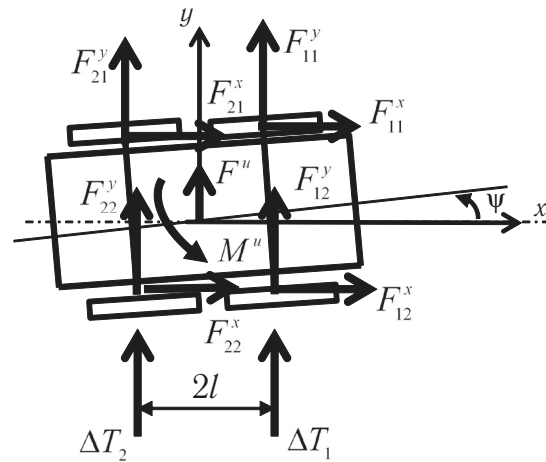


Рис. 2

кой рамой, с колесами прямолинейного и криволинейного профилей, учитывая уширение рельсовых нитей на постоянную величину 2Δ . Радиус качения колес в центральной установке КП также уменьшится на соответствующую величину, которую необходимо учесть при численных расчетах.

Заметим, что геометрическая неровность рельсовых нитей прежде всего влияет на радиусы качения колес r_{ij} , где i — номер КП: 1 — передняя, 2 — задняя колесные пары; j — номер колеса КП: 1 — левая по ходу движения, 2 — правая. Она (неровность) существенно влияет и на величину возвращающей силы в большей степени при криволинейном профиле поверхности катания колес.

Если вести обозначения y_{pij} величины отступления от номинального расположения рельсовой нити для абсциссы каждого колеса в данный момент времени, то ординаты контакта колес y_{kij} примут вид:

$$y_{kij} = (-1)^{j+1} [y + (-1)^{i+1} l \psi] - y_{pij}, \quad (1)$$

$$\text{где } \begin{cases} y_{pi1} = s_+ - 0,760 = \Delta + A \sin \frac{\pi x_{ij}}{L}; \\ y_{pi2} = s_- + 0,760 = -[\Delta + A \sin(\frac{\pi x_{ij}}{L} + \varphi)]. \end{cases} \quad (2)$$

Здесь x_{ij} — абсцисса точки контакта.

Примем уравнение профиля катания в виде [6]: $\Delta r = -i\xi - \beta\xi^2$, где ось $O_1\xi$ направлена к оси пути, ей перпендикулярна и лежит в горизонтальной плоскости; ось $O_1\Delta r$ перпендикулярна оси $O_1\xi$ и направлена вверх, начало координат O_1 совмещено с точкой контакта колеса с рельсом в центральной установке колесной пары; i — тангенс угла наклона касательной к параболе

в начале координат; β — некоторый параметр, величину 2β которого можно считать кривизной параболы в начале координат, так как при вычислении кривизны, производной i в начале координат и в ее окрестности можно пренебречь.

Используя результаты работы [7], получим выражения для определения приращений радиусов кругов катания для каждого из колес тележки при ее поперечном перемещении и повороте:

$$\Delta r_{ij} = i \frac{\beta_0}{\beta_0 - 2\beta} y_{kij} + \beta \left(\frac{\beta_0}{\beta_0 - 2\beta} y_{kij} \right)^2. \quad (3)$$

Учитывая формулу (1), можно получить выражения для радиусов качения каждого колеса:

$$r_{ij} = r_0 + \Delta r_{ij}, \quad (4)$$

$$r_0 = r_n - i \frac{\beta_0}{\beta_0 - 2\beta} \Delta - \beta \left(\frac{\beta_0}{\beta_0 - 2\beta} \Delta \right)^2,$$

где r_n — номинальный радиус колеса в центральной установке колесной пары.

Получим теперь формулы вычисления гравитационных составляющих T_{ij} нормальных реакций N_{ij} рельсов на колеса в точках контакта для колес с криволинейным профилем поверхности катания. Известно [3–5], что

$$T_{ij} = N_{ij} \operatorname{tg} \alpha_{ij},$$

где α_{ij} — угол наклона касательной к профилю катания колеса в точке его контакта с рельсом. Учитывая геометрический смысл производной, найдем выражение для T_{ij} в зависимости от ординаты точки контакта колеса с рельсом. Воспользовавшись формулами работы [7], получим для рассматриваемого профиля:

$$T_{ij} = P(-i - 2\beta\xi) = P(-i - \frac{2\beta}{1-\mu}y_{kij}). \quad (5)$$

Найдем выражение для возвращающей силы каждой КП тележки как разность гравитационных составляющих колес КП: $\Delta T_1 = T_{11} - T_{12}$ и $\Delta T_2 = T_{21} - T_{22}$, учитывая формулы (1;2;5)

$$\begin{cases} \Delta T_1 = P \frac{2\beta}{1-\mu} (y_{k11} - y_{k12}) = P \frac{2\beta}{1-\mu} (2y + l\psi - y_{p11} + y_{p12}); \\ \Delta T_2 = P \frac{2\beta}{1-\mu} (y_{k21} - y_{k22}) = P \frac{2\beta}{1-\mu} (2y - l\psi - y_{p21} + y_{p22}). \end{cases} \quad (6)$$

Для подсчета крива в контакте каждого колеса воспользуемся формулами, предложенными в работе [8], применительно к тележке, движущейся по рельсовым неровностям:

$$\begin{cases} \varepsilon_{1j}^x = r_{1j}\Delta\varphi - (\Delta x - \frac{\psi^2}{2}l + (-1)^j\psi s); \\ \varepsilon_{2j}^x = r_{2j}\Delta\varphi - (\Delta x + \frac{\psi^2}{2}l + (-1)^j\psi s); \quad j = 1, 2 \\ \varepsilon_{1j}^y = \Delta y + (-1)^j \Delta y_{p1j} - r_{1j}\Delta\varphi \cdot \psi; \\ \varepsilon_{2j}^y = \Delta y + (-1)^j \Delta y_{p2j} - r_{2j}\Delta\varphi \cdot \psi. \end{cases} \quad (7)$$

Найдя интенсивность изменения составляющих крива:

$$\begin{cases} \dot{\varepsilon}_{1j}^x = r_{1j}\dot{\varphi} - (\dot{x} - \psi\dot{\psi}l + (-1)^j\dot{\psi}s); \\ \dot{\varepsilon}_{2j}^x = r_{2j}\dot{\varphi} - (\dot{x} + \psi\dot{\psi}l + (-1)^j\dot{\psi}s); \\ \dot{\varepsilon}_{1j}^y = \dot{y} + (-1)^j \dot{y}_{p1j} - r_{1j}\dot{\varphi}\psi; \\ \dot{\varepsilon}_{2j}^y = \dot{y} + (-1)^j \dot{y}_{p2j} - r_{2j}\dot{\varphi}\psi; \\ r_{ij} = r_0 + \Delta r_{ij}. \end{cases} \quad j = 1, 2 \quad (8)$$

Подставим их в выражения сил крива $F = -k \frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{x}}$ раскладывая их на составляющие. Здесь F — сила крива; k — коэффициент крива; $\dot{\varepsilon}$ — интенсивность изменения крива; $\dot{x}$ — поступательная скорость тела.

$$\begin{cases} F_{1j}^x = -\frac{k}{\dot{x}}(r_{1j}\dot{\varphi} - (\dot{x} - \psi\dot{\psi}l + (-1)^j\dot{\psi}s)); \\ F_{2j}^x = -\frac{k}{\dot{x}}(r_{2j}\dot{\varphi} - (\dot{x} + \psi\dot{\psi}l + (-1)^j\dot{\psi}s)); \\ F_{1j}^y = -\frac{k}{\dot{x}}(\dot{y} + (-1)^j \dot{y}_{p1j} - r_{1j}\dot{\varphi}\psi); \\ F_{2j}^y = -\frac{k}{\dot{x}}(\dot{y} + (-1)^j \dot{y}_{p2j} - r_{2j}\dot{\varphi}\psi). \end{cases} \quad j = 1, 2 \quad (9)$$

$$\begin{cases} F_{1j}^x = -\frac{k}{\dot{x}}[(r_0 + \Delta r_{1j})\dot{\varphi} - (\dot{x} - \psi\dot{\psi}l + (-1)^j\dot{\psi}s)]; \\ F_{2j}^x = -\frac{k}{\dot{x}}(r_0 + \Delta r_{2j})\dot{\varphi} - (\dot{x} + \psi\dot{\psi}l + (-1)^j\dot{\psi}s); \\ F_{1j}^y = -\frac{k}{\dot{x}}(\dot{y} + (-1)^j \dot{y}_{p1j} - (r_0 + \Delta r_{1j})\dot{\varphi}\psi); \\ F_{2j}^y = -\frac{k}{\dot{x}}(\dot{y} + (-1)^j \dot{y}_{p2j} - (r_0 + \Delta r_{2j})\dot{\varphi}\psi). \end{cases} \quad j = 1, 2 \quad (10)$$

Составим уравнение состояния тележки с жесткой рамой

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 F_{ij}^y + \sum_{i=1}^2 \Delta T_i + F_u = 0; \\ s \sum_{j=1}^2 (-1)^j (F_{1j}^x + F_{2j}^x) + l \sum_{i=1}^2 (-1)^{i+1} (F_{i1}^y + F_{i2}^y + \Delta T_i) + M_u = 0 \end{cases} \quad (11)$$

в некоторый момент времени (см. рис. 1,2).

Здесь $F_u = -m_T \ddot{y}$, $M_u = -J_z \ddot{\psi}$, $F_{ij} = -k \frac{\dot{u}}{v}$, $\dot{u}$ – скорость упругой деформации в пятне контакта каждого колеса

тележки и рельсов. Преобразовывая уравнения (9) после подстановки выражений силовых факторов, следует учитывать связь угловой скорости вращения колесных пар с поступательной скоростью тележки в данный момент времени $\dot{x} = r_0 \cdot \dot{\phi}$. Подставим выражения силовых факторов в уравнения (11), учитывая $r_{ij} = r_0 + \Delta r_{ij}$ и после соответствующих преобразований получим:

$$\begin{aligned} & \ddot{y} + \frac{4k}{m_T \dot{x}} \dot{y} - 4 \frac{k}{m_T \dot{x}} \dot{\phi} \psi r_0 - \frac{k}{m_T \dot{x}} (\Delta r_{11} + \Delta r_{12} + \Delta r_{21} + \Delta r_{22}) \dot{\phi} \psi + \frac{P}{m_T} \frac{8\beta y}{1-\mu} = \\ & = - \frac{k}{m_T \dot{x}} (-\dot{y}_{p11} - \dot{y}_{p21} + \dot{y}_{p12} + \dot{y}_{p22}) - \frac{P}{m_T} \frac{2\beta}{1-\mu} (-y_{p21} + y_{p22} - y_{p11} + y_{p12}); \\ & \ddot{\psi} + \frac{4ks^2}{J_z \dot{x}} \dot{\psi} + \frac{4\beta l^2 P}{J_z (1-\mu)} \psi + \frac{4ks}{J_z \dot{x}} i \frac{\beta_0}{\beta_0 - 2\beta} y = \\ & = \frac{ks}{J_z \dot{x}} \cdot i \frac{\beta_0}{\beta_0 - 2\beta} (y_{p11} - y_{p12} + y_{p21} - y_{p22}) + \\ & + \frac{2\beta l}{1-\mu} \cdot \frac{P}{J_z} (y_{p11} + y_{p22} - y_{p12} - y_{p21}) + \\ & + l \frac{k}{J_z \dot{x}} \cdot i \frac{\beta_0}{\beta_0 - 2\beta} (y_{p11} + y_{p12} - y_{p21} - y_{p22}) - l \frac{k}{J_z \dot{x}} (\dot{y}_{p11} - \dot{y}_{p12} + \dot{y}_{p22} - \dot{y}_{p21}). \end{aligned} \quad (12)$$

Следует отметить, что в правой части уравнений (12) стоят суммы простых гармоник, наложение которых друг на друга возбуждают сложное периодическое колебание как самой тележки, так и кузова вагона, что может существенно повлиять на безопасность движения экипажа.

В тоже время, сравнивая левые части уравнений (12) с уравнениями, приведенными в работе [3]

$$\begin{cases} m_T \ddot{y} + \frac{4k}{v} \dot{y} - 4k\psi = 0; \\ J_{Tz} \ddot{\psi} + \frac{4kl_m^2}{v} \dot{\psi} + \frac{4ksi}{r} y = 0, \end{cases}$$

можно заметить наличие соответствующих линейных членов искомых функций в уравнениях (12). Наличие этих членов дает основание полагать об устойчивости и даже затухании собственных колебаний тележки. 

Литература

1. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации (Утверждены приказом Минтранса от 21 декабря 2010 г. № 286) (Зарегистрировано в Минюсте России 28.01.2011 № 19627).
2. Инструкция по текущему содержанию пути, утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» №2288р от 14.11.2016.

3. Вершинский, С.В. Динамика вагона: учебник для вузов ж.-д. трансп. / С.В. Вершинский, В.Н. Данилов, В.Д. Хусидов; под ред. С.В. Вершинского. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Транспорт, 1991. — 360 с.
4. Гарг, В.К. Динамика подвижного состава / В.К. Гарг, Р.В. Дуккипати; Пер. с англ. К.Г. Бомштейна; Под ред. Н.А. Панькина. — М.: Транспорт, 1988. — 391 с.
5. Корольков, Е.П. Формула вычисления возвращающей силы колесной пары для колес с криволинейным профилем / Е.П. Корольков, А.А. Иванова // Мир транспорта. — 2017. — №4. — С. 42–48.
6. Корольков, Е.П. Выбор профиля поверхности катания из условия вписывания в кривые / Е.П. Корольков, К.А. Сергеев, А.И. Бондаренко // Наука и техника транспорта. — 2016. — №2. — С. 49–51.
7. Корольков, Е.П. Свойства точек контакта криволинейного профиля / Е.П. Корольков // Наука и техника транспорта. — 2016. — №1. — С. 76–78.
8. Корольков, Е.П. К вопросу моделирования движения колесной пары / Е.П. Корольков, А.В. Ряднов, Т.А. Фролова // Наука и техника транспорта. — 2019. — №4. — С. 31–34.

РАЗВИТИЕ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ КАК ФАКТОР ГЕОПОЛИТИКИ И РЕГИОНАЛЬНОГО ТУРИЗМА: МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

С точки зрения зависимости государственных действий от влияния географических факторов на состояние и эволюцию экономической, политической и социальной систем общества рассматривается развитие транспортных магистралей. Изучается современное состояние железнодорожных вокзалов в нескольких малых городах.

Ключевые слова: транспортные маршруты, железнодорожные вокзалы, направление перевозок, факторы геополитики, внешняя политика



В.П. Седякин



П.А. Гелюх

Актуальность заявленной названием темы далеко не исчерпывается прагматическими вопросами развития путей сообщения в России. Перспективы развития путей сообщения мы будем рассматривать, в основном, на примере железных дорог. Они до сих пор остаются, как известно, главным видом транспорта по грузовым перевозкам и имеют для России стратегическое значение. И имеют не только стратегическое, но, в известном смысле, и «государствообразующее значение». Известно множество примеров деградации населенных пунктов и даже регионов всего лишь из-за прекращения пассажирского движения на проходящей через них железной дороге. Железнодорожный вокзал в российских

городах — это не «транспортный терминал», он имеет особое социальное значение, которого нет в других европейских странах. Это особый социальный институт, с обязательными отделениями связи и полиции (милиции) поблизости. Они несут даже определенную социокультурную функцию [1].

Кроме того, показатели объема железнодорожных перевозок в России имеют значение точного индикатора экономической активности. Эксплуатация железнодорожного транспорта в российских условиях обходится довольно дорого, при слабой интенсивности эксплуатации рентабельность их падает, а затраты снижают общую экономическую эффективность железных дорог и регионов. Именно поэтому

Седякин Владимир Павлович, кандидат технических наук, доктор философских наук, профессор кафедры Прикладной информатики Московского государственного университета геодезии и картографии (МИИГАиК). Область научных интересов: обработка информации, история науки и техники, комплексная защита информации. Автор 65 научных работ, в том числе пяти монографий и восьми учебных пособий.

Гелюх Павел Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспортное строительство» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: строительная механика, транспортное строительство, мониторинг состояния объектов транспортной инфраструктуры. Автор 25 научных работ, в том числе четырех учебных пособия.

Локтев Алексей Алексеевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Транспортное строительство» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: механика деформированного тела, моделирование объектов транспортной инфраструктуры, железнодорожный путь, реконструкция объектов исторического и архитектурного наследия. Автор 185 научных работ, в том числе трех монографий.

сокращалась долгие годы протяженность железных дорог в США в послевоенные годы. Строительство железных дорог в странах с малоразвитым морским побережьем отражает высокие темпы развития экономики, т.к. при экстенсивном развитии экономики достаточно уже существующих железных дорог и развития других видов транспорта, чаще автомобильного и авиационного. При устойчивом «отрицательном росте» экономики и всей социальной сферы в последние годы в России развитие железнодорожного транспорта может быть обоснованно только внешнеэкономическими или военно-политическими факторами. Поэтому, например, расширяются припортовые железнодорожные пути у балтийского порта Приозерск и построен Крымский мост. Другим и очень важным примером является проект строительства высокоскоростных железных дорог на территории России в рамках китайского проекта «Новый шелковый путь». Активно дискутируются «геополитические» факторы, связанные с этим проектом.

Попробуем здесь рассмотреть методологические вопросы, связанные с геополитикой, как научной основой для такого рода дискуссий. Прежде всего, определим само понятие геополитики. В [2] дается следующее определение: «геополитика — направление политической мысли, концепция, исходящая из признания интересов государства, распространяемых за пределами официально признанных границ. Изучает зависимость государственных действий от влияния географических факторов на состояние и эволюцию экономической, политической и социальной систем общества». Слово «изучает» свидетельствует о том, что геополитика — это некое научное направление в политической мысли. Под последним очевидно имеется в виду политология. Однако, далее в этом же словаре [2] указывается, что «геополитика — это политологическая концепция, согласно которой политика государств (в основном внешняя) предопределяется географическими факторами (положение страны, природные ресурсы, климат и др.)». Т.е. научный статус геополитики снижается до уровня конкретной концепции в политике, а точнее — во внешней политике, которая сама по себе никакой наукой не является. Возникает вопрос, а применим ли какой-нибудь научный подход для анализа упомянутых «геополитические» факторов?

Для ответа на этот вопрос обратимся к истории. В конце XIX — начале XXI веков вновь в отечественной научной литературе возникла дискуссия, связанная с философским осмыслением истории [3;4]. Она актуальна в связи с острой необходимостью переосмысления традиционной историко-философской рефлексии, выражаемой образным рядом: «Россия — не Европа,

Россия — это Европа, Россия — это недо-Европа, Россия — над-Европа, Россия — против-Европа». В связи с этой дискуссией приобрела новую актуальность ревизия концепции Н.Я. Данилевского об «историческо-культурных типах» народов. Как известно, Н.Я. Данилевский предвосхитил своей концепцией геополитические концепции К. Хаусхофера [4] и С. Хаттингтона, которые впоследствии развивались в известных работах Валлерстайна, Тоффлера и Ф. Фукуямы [5].

Н.Я. Данилевский выдвинул концепцию «историческо-культурных типов» народов в конкретный исторический период, когда Российская империя вступила на путь бурного экономического, социального и демографического развития. Проблемы развития громадной империи, нарастающий конфликтный потенциал в отношениях с Европой подтолкнули Н.Я. Данилевского к анализу этнической и культурной неоднородности России сравнительно с европейскими странами. Бисмарк — многолетний прусский посол в Петербурге критически оценивал именно крайнюю неоднородность и «неупорядоченность» России. С точки зрения же современной теории систем многообразие в социальных системах дает им потенциальное преимущество устойчивости по сравнению с гомогенными системами [6;7].

Современные популярные российские авторы самых разных политических направлений (А.Г. Дугин, М.Г. Делягин, А.С. Панарин), насколько об этом можно судить по их публикациям не смогли выдвинуть оригинальные концепции развития, в которых учитывались бы проблемы геополитического характера (по Н.Я. Данилевскому) и проблемы современного российского государства. Даже переосмысление на современном уровне взглядов Н.Я. Данилевского оказалось вне их научных интересов вышеупомянутых российских авторов.

А ведь деформация культурно-исторического типа, которая произошла с ним за советское и постсоветское время заслуживает самого серьезного внимания. Можно утверждать, что в результате исторического социального эксперимента произошли фундаментальные изменения в российском культурно-историческом типе. Целенаправленно формировался новый тип «советского человека», что привело к появлению т.н. «homo soveticus». Продолжительные совместные исследования российских и европейских социологов сравнительного уровня социализованности русского и европейских обществ в те же годы привели к выводу о наименьшем уровне социализованности и о наибольшей «социальной атомизированности» именно в России. С геополитической точки зрения Россия оказалась сейчас в сложном положении между западноевропейской и китайской цивилизациями.

Соглашаясь на строительство высокоскоростных транспортных магистралей в китайских интересах Россия должна учитывать все риски геополитического характера. Исторический опыт строительства Мурманской железной дороги в годы Первой Мировой войны у России уже имеется. Завезенные из Китая более ста тысяч рабочих, были привлечены большевиками на свою сторону и стали активными участниками гражданской войны. По всей видимости, необходимо разработать критерии безопасного сотрудничества в проекте высокоскоростных транспортных магистралей [8;9].

Рассмотрим реализацию предлагаемого подхода в историческом аспекте создания и развития транспортных путей из центра европейской части России в южном направлении на примере нескольких малых городов Воронежской области [10], появившихся в составе Белгородской защитной черты или при строительстве флота для развития судоходства по Черному морю. Город Павловск был основан в 1709 году как крепость-верфь и имел первоначальное название Осеред, по названию реки, впадающей в этом месте в Дон. До основания города на этом месте с 1685 года существовало черкасское селение, образованное служащими Острогжского черкасского полка [11–13]. В конце XVI – середине XVII веков после строительства Белгородской черты ближе всего к месту основания Павловска были построены города Ольшан, Острогжск, Коротояк, и это угодье стало относиться к Острогжску. Первоначально предполагалось заложить в этих местах крепость в 1708 году, но помешало Булавинское восстание. Царь Петр I планировал использовать ее в качестве важного форпоста на юге страны, прикрывающего уже ставший крупным центром Воронеж, а также перенести сюда верфь из Воронежа, в котором река мелела, и ежегодные мероприятия по увеличению глубины русла уже не помогали. Для строительства крепости были направлены 3000 шведов, взятых в плен под Полтавой. Верфь была расположена в устье реки Осередь, образующей в этом месте широкий затон, по ширине сравнимый с Доном. На самом Дону в это время было интенсивное судоходство и располагать там верфь было нецелесообразно. В 1711 году верфь стала функционировать, началась постройка 1 фрегата, 2 боевых и 10 вспомогательных судов, в этом же году город получил свое теперешнее название «Павловск» в честь Павловской крепости на реке Миус, которую пришлось скрыть по соглашению с Турцией при уступке ранее захваченного Азова (при этом губернским городом Азовской губернии стал Воронеж). Гарнизоны и посадское население было переправлено в Павловск, что существенно увеличило роль города в торго-

производственных отношениях. Примерно в это же время сюда были переведены на поселение посадские и торговые люди из Сызрани, Пензы, Симбирска и Казани. Именно этот факт объясняет появление в крепости Казанской церкви, построенной для иконы Казанской Божьей Матери, привезенной с собой переселенцами из Казани. В 1713 году в Павловск из Таврово перенесено Адмиралтейство, для которого под руководством Ф. Склеяева построено здание и были обустроены службы. В городе построены двухэтажный государев дворец, литейный, инженерный и пороховой заводы, на правом берегу Осереды устроены государевы зверинец и парк. Гарнизон города состоял из 5 полков и артиллерийской команды. В это время окончательно сложилась планировка крепости и прилегающих к ней кварталов в виде единого кораблестроительного комплекса, при этом каждый квартал имел свою производственную специализацию. Все это сделало Павловск крупным торговым городом, крепостью и второй по величине (после Петербургской) верфью в России. Таким образом, с момента основания Павловск застраивался по регулярному плану, что видно и сейчас при путешествии по городу, наиболее длинные улицы ориентированы перпендикулярно Дону. После смерти Петра I и расширения территории страны на юг Павловск теряет свое военно-экономическое значение, а частые пожары, широкие разливы рек, а также эпидемии язвы приводят город в опустошение. Весной 1754 года царским указом были отменены таможенные пошлины, что дало дополнительный стимул развитию в этих краях купечества. В 1779 году при учреждении воронежского наместничества, а затем и губернии, Павловск становится уездным городом и вновь начинает активно развиваться. Именно к этому времени относится появление в городе первых каменных зданий, строительство Покровской и Казанской церквей, собора Преображения, сохранившихся до нашего времени. Немногом ранее, в 1770 году, составлен регулярный план города, на котором приведена планировка крепости, верфи, городских кварталов, обозначены все основные постройки, а также места уже утраченного царского двора, церквей и заводов. В 1789 году утвержден генеральный план города, по нему предполагалось сохранение крепости с бастионами, а территория непосредственно города разбивалась на 22 квартала, образующих северо-западный и центральный районы [11–13]. Описание Воронежского наместничества, сделанное в 1784 году, говорит о том, что в Павловске проживало 1593 человека, была канатная фабрика, где работало 80 человек, а ее продукция продавалась в Таганроге. Второй генеральный план был составлен в 1798 году, главной городской

магистралью в нем также являлась улица Красная (современное название — проспект Революции), она делила город на северную и южную части. Северная часть состояла из 22 кварталов и 2 площадей, южная — из 13 кварталов и одной площади. Территорию крепости не планировалось использовать под застройку. В XIX веке Павловск развивался как центр крупного сельскохозяйственного района. Этому способствовала деятельность всего населения: и помещиков, и купцов, и крестьян. На момент отмены крепостного права в 1861 году крепостным крестьянам графа Воронцова принадлежало 9 салоплавилен, на них работало 47 наемных работников. В имении Бутурлиных крестьяне нескольких слобод выкупили для себя. На 1 января 1896 года в городе имелось 1070 зданий, из которых 95 были кирпичными, 4 церкви, женская гимназия, уездное и духовное училища, городской банк, городская больница на 25 коек (при больнице работали 2 врача, 5 фельдшеров и одна акушерка) и благотворительное общество. В городе проживало 6631 человек; из них: 58 — дворяне, 35 — духовенство, 568 — почетные граждане и купцы, 5185 — мещане, 234 — военные, 522 — крестьяне, 29 — прочие сословия. В 1905 году в Павловске было уже 1493 здания: 1370 — деревянных, 123 — каменных, причем 20% из них были покрыты железом, а остальные околотом (деревянные доски, уложенные внахлест). На этот момент в городе было 6 церквей, реальное училище (153 учащихся), женская гимназия (384 учащихся), духовное мужское училище (191 учащихся), городское трехклассное училище, два мужских приходских училища, одно женское приходское училище, две церковно-приходские школы, четыре библиотеки, три больницы, две аптеки и двадцать два завода. Если сравнить образовательные учреждения Павловска того периода с другими уездными городами империи, то видно сильное влияние духовенства и огромная роль церкви в повышении образованности населения. К существовавшим с конца XVIII века высотным доминантам Преображенского собора, Казанской и Покровской церквей к началу XX века дополнились купола дома Одинцова, реального училища и женской гимназии, башня пожарной каланчи и башенки главного корпуса духовного училища. В годы Гражданской войны Павловск несколько раз становился ареной ожесточенных сражений. Сложные испытания на долю Павловска выпали в годы Великой Отечественной войны: после провала операции по освобождению Харькова летом 1942 года и последующего Барвенковского окружения. Немецкие войска с упорными боями к июлю 1942 года дошли до реки Дон и окопались на высоком правом берегу. Так началась прифронтовая история Павловска, длившаяся

до начала 1943 года. В это время город подвергался каждодневным обстрелам и бомбардировкам. Сейчас город насчитывает 17,5 тыс. жителей, он расположен на стратегически важной трассе, связывающей центр России с черноморским и азовским побережьем, Кавказом, имеет судоремонтные, авторемонтные, гранитодобывающие, строительные и сельскохозяйственные предприятия, а также различные организации сферы услуг и банковского сектора. Город, несомненно, стал больше и краше, но с начала прошлого века в нем осталось не так много зданий, свидетельствующих о славной истории края (справедливости ради стоит отметить, что подавляющее большинство из них находится в удовлетворительном и хорошем состоянии). Согласно Перечню объектов исторического и культурного наследия (памятников истории и архитектуры) Воронежской области в городе находится 11 объектов исторического наследия областного значения и 29 объектов местного значения. Компактность исторического центра Павловска и мастерство проектировщиков, разработавших генеральные планы города в 1971 и 1980 годах, помогли сохранить ядро старого города, представляющее интерес для изучения истории и просто для туристов. В подтверждении важного геополитического значения данного города в прошлые годы у здания станции юных техников и музея морского флота вдоль красной линии проспекта Революции лежат пять речных и морских якорей. Такого количества якорей в одном месте вы не встретите в Воронежской области нигде, это подчеркивает значимость Павловска как одного из самых южных морских и речных портов для петровской и постпетровской России (рис. 1).

Строительство железных дорог в России, начавшееся в XIX веке, перераспределило значимость внутренних путей сообщения в пользу нового рельсового транспорта, практически все вокзальные постройки того времени являются историческими и культурными памятниками. Железнодорожные вокзалы, даже на небольших станциях, построенные более ста лет назад, имеют большие внутренние объемы. Однако в регионах в настоящее время они используются неполно. Важным направлением, показывающим преломление исторической геополитики, современной экономики и изучения истории является возможность использования исторических объектов транспортной инфраструктуры в современных условиях [14; 15].

На примере Воронежской области, в состав которой входят 34 муниципальных района, с населением более 2,3 млн жителей, можно хорошо проиллюстрировать имеющиеся возможности использования комплекса объектов транспортных магистралей по направлению «Центр—Юг», в том числе и объек-



Рис. 1. Морской музей в городе Павловске Воронежской области

тов железнодорожной инфраструктуры для развития внутреннего туризма и вовлечения таких объектов в современную хозяйственную деятельность [11–15].

Город Лиски образовался вокруг одноименной станции, которая является крупным железнодорожным узлом Юго-Восточной железной дороги. Станция построена в 1870 году, а старинное здание железнодорожного вокзала (островного типа) — в 1901 году, является архитектурно-историческим памятником. В настоящее время построено новое здание вокзала с высотной гостиницей в современном стиле по проекту харьковского института «Харгипротранс».

Недалеко от узловой станции расположены города Острогожск, Бобров, Новохоперск, Калач, Павловск, являющиеся историческими городами и имеющие комплексы транспортной инфраструктуры, относящиеся к объектам историко-культурного наследия и недостаточно загруженные в данный момент. Более подробно развитие транспортных магистралей в конце XIX века и современное состояние инфраструктурных объектов можно рассмотреть на примере станции Калач. Железная дорога от станции Таловая до станции Калач была построена в 1896 году, изначально были планы продлить железнодорожные пути далее, но после от них отказались, т.к. потребности в перевозках соседних уездов обеспечивали другие ветки, а

связывать направления на Ростов-на-Дону и Царицын в этом месте посчитали не эффективным.

Пассажирского сообщения через станцию Калач в настоящее время нет, с одной стороны, потому что станция тупиковая, с другой стороны — прямая железнодорожная ветка связывает Калач только с Таловой через Бутурлиновку. До начала XXI века ходил поезд Воронеж—Калач, но время в пути занимало около 12 часов, при езде на автомобиле в районе 4 часов и 5 часов на автобусе, поэтому с развитием автомобильных дорог, необходимость в прямом железнодорожном сообщении с областным центром и районными центрами Бутурлиновка, Таловая, Бобров, Лиски, находящимися по ходу следования состава, отпала.

Вместе с тем станция достаточно активно используется для перевозки зерна с элеватора, расположенного в непосредственной близости, продукции с асфальтового завода, мясокомбината и множества сельскохозяйственных предприятий района. Хотя станция Калач помнит и более славные времена, когда в конце 1942 — начале 1943 годов это была наиболее близкорасположенная станция к основным военным театрам Юго-Западного, Донского, Сталинградского фронтов, через которую прошли и были разгружены тысячи военных эшелонов. Так было вплоть до начала полноценной эксплуатации Волжской рокады (желез-

ная дорога от станции Свияжск до станции Иловля вблизи Сталинграда).

В настоящее время некоторые из пристанционных зданий пустуют, другие разобраны и только некоторые используются, сменив владельца и функциональный профиль. Важным аспектом при описании данного комплекса объектов, является выяснение возможности их использования в изменившихся условиях для современных нужд горожан.

Вокзал возведен в стиле конструктивизма (рис. 2). В настоящее время здание практически пустует, в нем работает не более десяти человек, на наш взгляд оно нуждается в перепрофилировании и использовании для собраний большого количества людей, будь-то концертный зал, кинотеатр или площадка для презентаций и выступлений [14–16].

Другой объект культурного наследия на станции Калач (станционная постройка) переоборудован для нужд современной торговли, здесь располагается продуктовый магазин сети супермаркетов «Пятерочка». Главный фасад со стороны проезжей части улицы и боковые фасады с треугольными фронтонами отделаны металлическим профилированным листом, окрашенным в корпоративные цвета сети магазинов. Сайдинг полностью скрывает декоративные элементы и существенно искажает историческую аутентичность объекта, но вместе с тем, такое использование здания позволяет поддерживать основные конструкции в приемлемом состоянии и, однозначно, лучше, чем

запустение и разрушение объекта исторического и культурного наследия [11–13;17].

Исторический облик станционной постройки можно увидеть со стороны фасада, обращенного к железной дороге (рис. 3).

Рядом с вокзальным комплексом располагалось депо, которое было введено в эксплуатацию в 1896 году, о важности данного направления говорит тот факт, что это первая тупиковая железнодорожная ветка, построенная в Воронежской губернии, а потом и области. Для обслуживания подвижного состава требовались депо и мастерские, которые и были возведены по данному адресу, на картах в информационной сети Интернет, трапециевидное в плане здание депо, развернутое немного под углом к железнодорожным путям еще присутствует, а вот на спутниковых снимках его уже нет. При сборе материала для данной статьи удалось выяснить, что здание было окончательно разобрано в мае 2017 года, фотография, представленная ниже была сделана в июле 2017 года и показывает место расположения депо, а также бетонный пол основного ремонтного помещения и фрагменты цоколя (рис. 4). О важности данного предприятия говорит то, что в 1908 году в губернии еще было только три депо (Отрожка, Валуйки, Касторное) и железнодорожные мастерские в Воронеже. В 1912 году к существующим депо добавились: Таловая, Графская, Балашов, также появились железнодорожные мастерские в городе Острогожске.



Рис. 2. Здание вокзала на станции Калач



Рис. 3. Станционная постройка на станции Калач



*Рис. 4. Фрагменты основания утраченного железнодорожного депо
на станции Калач*

Несмотря на потерю объекта исторического и культурного наследия местного значения, перефилирование других и некоторое запустение третьих станционных построек, железнодорожная станция достаточно успешно функционирует, переориентировавшись на отправку грузов [18;19]. К железнодорожной линии Таловая—Калач, в городе Бутурлиновка примыкает ветка, ведущая на станцию Павловск-Воронежский, которая является одной из крупнейших в регионе по отправке грузов, поскольку через нее идет транспортировка щебня, добытого в карьерах ОАО «Павловскгранит». Развитие сельского хозяйства позволяет надеяться, что грузооборот станции Калач будет только увеличиваться.

В России есть примеры превращения комплексов объектов транспортной инфраструктуры в огромные музеи под открытым небом, такие как музей истории железнодорожной техники на Рижском вокзале в городе Москве, на станции Шушары под Санкт-Петербургом, на станциях Кочетовка и Воронеж-1 Юго-Восточной железной дороги.

Возможность подобного развития имеется и у объектов транспортной инфраструктуры небольших городов нашей страны, и потребность в ней велика. Именно в небольших городах и населенных пунктах вокзалы, которые являются памятниками истории и архитектуры, а также важными элементами развития

транспортной сети и распространения геополитического влияния, могут вновь стать центрами культурной исторической и туристической жизни данной местности, внести большой вклад в развитие образования и туризма [20;21].

Заключение

Результаты проведенного исследования показывают, что имеется реальная возможность дополнительного использования полупустых исторических объектов транспортной инфраструктуры в целях развития региональной экономики. Пропускные способности железных дорог позволяют организовывать движение экскурсионных поездов, курсирующих между станциями, на каждой из которых можно проводить мастер-классы, экскурсии, открытые театры, конференции, познавательные и развивающие мероприятия. За 3–5 дней можно провести познавательный тур по достопримечательностям края с размещением туристов в малых городах России с их самобытной культурой, что, несомненно, будет способствовать развитию регионального туризма и, следовательно, развитию экономики отдаленных населенных пунктов. Также на территории вокзалов возможна организация гибких рабочих пространств, можно проводить корпоративные мероприятия, конференции, семинары для сотрудников и заинтересованных лиц.



Литература

1. Локтева, О.С. Использование коворкингов, созданных на базе исторических объектов, для развития научных школ транспортной отрасли/ О.С. Локтева, А.А. Локтев, В.И. Ткаченко // В сборнике: Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта. Межвузовский сборник научных трудов. —Москва, 2020. —С. 318–333.
2. Политическая наука: Словарь-справочник. Автор и составитель Санжаревский И.И., д-р. полит. наук, проф., изд. 6-е, испр. и доп., 2016.
3. Якунин, В.И. Политология транспорта. Политическое измерение транспортного развития / В.И. Якунин. —М.: Экономика, 2006. —432 с.
4. Хаусхофер, К. О геополитике: Работы разных лет/ К. Хаусхофер —М.: Мысль, 2001.
5. Фукуяма, Ф. Конец истории и последний человек/Фрэнсис Фукуяма; [пер. с англ. М.Б. Левина]. —Москва: Изд-во АСТ: Полиграфиздат, 2010. —588 с.; 21 см. —(Психология); ISBN 978-5-17-059140-4 (АСТ).
6. Зиновьев, А.А. Гомо советикус; Пара беллум/ А. Зиновьев. —М.: Моск. рабочий, 1991. —412 с.
7. Мурманская железная дорога. История строительства (1894-1917 гг.)/ А. А. Голубев; Федеральное агентство ж.-д. транспорта, Федеральное гос. образовательное учреждение высш. проф. образования «Петербургский гос. ун-т путей сообщ.». —Санкт-Петербург: ПГУПС, 2011. —204 с.
8. Локтева, О.С. Особенности развития риск-ориентированного подхода на железной дороге/ О.С. Локтева, Д.А. Локтев // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». Т.4. №4(2017). DOI: 10.158-62/08TS417

9. Локтева, О.С. Социальное партнерство как инструмент увеличения безопасности труда в транспортной отрасли/ О.С. Локтева, Д.А. Локтев // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. —2017. —Т.11. —№11 (11). —С. 72–80.

10. Локтева, О.С. Использование коворкингов, созданных на базе исторических объектов, для развития научных школ транспортной отрасли/О.С. Локтева, А.А. Локтев, В.И. Ткаченко // В сборнике: Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта. Межвузовский сборник научных трудов. Москва, 2020. —С. 318–333.

11. Локтев, А.А. Памятники истории и архитектуры города Острогожска. Современное состояние (Альбом фотографий и краткое описание объектов культурного и исторического наследия города Острогожска Воронежской области) / А.А. Локтев, О.С. Локтева. —М.: МГСУ, 2011. —226 с.

12. Локтев, А.А. Памятники истории и архитектуры города Павловска Воронежской области. Современное состояние (Альбом фотографий и краткое описание объектов культурного и исторического наследия города Павловска Воронежской области) / А.А. Локтев, О.С. Локтева. —М.: МГСУ, 2012. —84 с.

13. Локтев, А.А. Памятники истории и архитектуры города Бобров. Современное состояние (Альбом фотографий и краткое описание объектов культурного и исторического наследия города Бобров Воронежской области) / А.А. Локтев, О.С. Локтева, А.Г. Полякова. —М.: МГСУ, 2014. —88 с.

14. Локтев, А.А. Значение железнодорожных сооружений в развитии регионального туризма/А.А. Локтев, О.С. Локтева, Д.А. Локтев // Путь и путевое хозяйство. —2020. —№8. —С. 36–39.

15. Локтева, В.А. Возможности BIM-технологий для объектов транспортной инфраструктуры на разных этапах жизненного цикла/ В.А. Локтева, Д.Р. Шукюров, А.А. Локтев // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. —2020. —Т.16. —№16(16). —С. 49–60.

16. Glusberg B., Korolev V., Shishkina I., Loktev A., Shukurov J., Geluh P., Loktev D. Calculation of track component failure caused by the most dangerous defects on change of their design and operational conditions // В сборнике: MATEC Web of Conferences, 2018. С. 01054.

17. Локтев, А.А. Составление расчетной модели реконструируемых транспортных объектов историко-архитектурного наследия/А.А. Локтев, Д.А. Локтев // Наука и техника транспорта. —2017. —№4. —С. 71–77.

18. Glusberg B., Savin A., Loktev A., Korolev V., Shishkina I., Alexandrova D., Loktev D. New lining with cushion for energy efficient railway turnouts // Advances in Intelligent Systems and Computing (см. в книгах). 2020. Т. 982. С. 556-570.

19. Loktev A., Korolev V., Shishkina I., Chernova L., Geluh P., Savin A., Loktev D. Modeling of railway track sections on approaches to constructive works and selection of track parameters for its normal functioning // Advances in Intelligent Systems and Computing (см. в книгах). 2020. Т. 982. С. 325-336.

20. Потапов, А.В. Тоннельная трасса для широтного арктического хода/ А.В. Потапов, В.П. Сычев, А.А. Локтев // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. —2017. —Т.11, №11(11). —С. 112–119.

21. Локтев, Д.А. Возможность увеличения интенсивности использования объектов транспортной инфраструктуры, являющихся памятниками истории и архитектуры, в области регионального туризма/ Д.А. Локтев, О.С. Локтева, С.В. Федорова, А.А. Локтев // Транспортные сооружения. —2018. —Т.5, №4. —С. 20.

ИНТЕГРАЦИОННЫЙ ПОДХОД В ОБУЧЕНИИ ОПЕРАТИВНЫХ РАБОТНИКОВ ГОРОДСКИХ РЕЛЬСОВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ



Л.А. Баранов



В.Г. Сидоренко

Рассмотрены основные подходы к обучению оперативного персонала, участвующего в управлении движением городских рельсовых транспортных систем. Описаны способы оценки знаний и умений при организации движения и возникновении нештатных ситуаций. Предложена структура Интегрированной автоматизированной системы обучения и оценки знаний оперативного персонала городских рельсовых транспортных систем.

Ключевые слова: городские рельсовые транспортные системы, интегрированный подход, обучение, оперативный персонал

Транспорт представляет собой важнейший элемент инфраструктуры любого современного государства. В условиях продолжающейся урбанизации и автомобилизации общества, увеличения нагрузки на транспортную инфраструктуру огромную роль играют городские внеуличные транспортные системы, обеспечивающие перевозку пассажиров без влияния трафика. Управление городскими рельсовыми транспортными системами (ГРТС) с целью обеспечения перевозочного процесса занимается оперативный персонал ГРТС. Квалификация оперативного персонала предполагает наличие определенного уровня подготовки для выполнения служебных обязанностей. В основе квалифи-

ции лежат знания, опыт работы и профессиональные навыки работника ГРТС. В настоящее время накоплен значительный опыт по обучению, повышению квалификации и проверке знаний оперативного персонала в России и за рубежом.

Основным критерием качества управления движением рельсового транспорта является обеспечение безопасности и удобство перевозки пассажиров. Для выполнения данных требований необходима высокая квалификация оперативных работников ГРТС, например, дежурных по станции, поездных диспетчеров, поездных диспетчеров-централизаторов, особенно в случаях возникновения нештатных ситуа-

Баранов Леонид Аврамович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Управление и защита информации» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (ИТТСУ РУТ (МИИТ)), Заслуженный деятель науки Российской Федерации. Область научных интересов: автоматизированное и автоматическое управление. Автор более 400 научных и учебно-методических работ, в том числе восьми монографий, трех учебников и трех учебных пособий. Имеет 35 авторских свидетельств на изобретения.

Сидоренко Валентина Геннадьевна, доктор технических наук, профессор кафедры «Управление и защита информации» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (ИТТСУ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: теория автоматического управления, управление и планирование движения транспортных средств, оценка качества управления движением транспортных средств, планирование работы и обучение оперативных работников транспортных систем. Автор более 180 научных работ.

Балакина Екатерина Петровна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление и защита информации» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (ИТТСУ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: теория автоматического управления, управление и планирование движения поездов, оценка качества управления движением поездов, обучение оперативных работников транспортных систем. Автор более 50 научных работ.

Логина Людмила Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление и защита информации» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (ИТТСУ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: теория автоматического управления, управление и планирование движения поездов, оценка качества управления движением поездов, обучение оперативных работников транспортных систем. Автор более 30 научных работ.

ций, приводящих к сбоям в движении транспортных средств. При ликвидации сбойных ситуаций оперативные работники ГРТС руководствуются положениями Правил технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации, Инструкции по сигнализации на железных дорогах Российской Федерации (ИСИ), Инструкции по движению поездов и маневровой работе на железных дорогах Российской Федерации, Инструкции по движению поездов и маневровой работе на метрополитенах Российской Федерации (ИДП), Правил технической эксплуатации метрополитенов Российской Федерации (ПТЭ).

Мировой опыт обучения оперативных работников

Мировое сообщество активно работает над вопросами обучения оперативных работников транспортной отрасли. Известны подходы к обучению оперативных работников в США [1;2], в которых основной упор делается на групповую работу. Участники задействованы в различных мероприятиях для достижения требуемой квалификации. Методы, используемые в тренировочной программе [1], включают в себя: анализ и обсуждение тематических исследований, упражнения на основе аудио- и видеозаписей, групповое обсуждение поставленных проблем. Особое внимание уделяется разработке тестовой части [2] как способу определения готовности обучаемых к работе в экстренных условиях.

В работе [3] предложен метод «Анализа когнитивных задач», который подразумевает изучение работы опытных железнодорожных диспетчеров для использования результатов метода при обучении оперативных работников.

Особое место при обучении оперативных работников играют разнообразные симуляционные модели рельсовых транспортных систем. Например, в работе [4] предложена модель линии метрополитена на основе платформы NetLogo, которая позволяет определять нормальные и аварийные сценарии с учетом таких критических параметров, как количество поездов; количество пассажиров, лестниц, турникетов, выходов; направление перемещения пассажиров.

В настоящее время существуют три формы обучения, повышения квалификации и проверки знаний оперативного персонала ГРТС, связанного с управлением движением:

1. Тестовая форма.
2. С применением событийных абстрактных моделей.
3. С применением моделей реального объекта ГРТС, работающих в реальном времени.

Для решения задачи обучения, повышения квалификации и проверки знаний оперативных работников, осуществляющих управление техническими средствами ГРТС при обеспечении заданного уровня безопасности, целесообразно использовать все три формы.

Формы обучения, повышения квалификации и проверки знаний оперативного персонала ГРТС

Тестовая форма обычно применяется для проверки теоретических знаний основных документов, правил и положений по организации движения поездов и проводится с использованием разных форм тестовых заданий [5]. Задания, ориентированные на проверку знаний оперативного сотрудника, должны содержать разные формы традиционных гомогенных тестовых заданий: задания с выбором одного правильного или нескольких правильных ответов, задания на установление соответствия, задания на установление правильной последовательности [6]. Под традиционными тестами понимается система заданий равномерно возрастающей трудности и специфической формы; система, позволяющая качественно и эффективно измерить уровень, оценить структуру подготовленности обучаемых [7]. Традиционный тест представляет собой метод диагностики испытуемых, в котором они отвечают на одни задания, в одинаковое время, в одинаковых условиях и с одинаковой оценкой. К традиционным тестам относятся тесты гомогенные и гетерогенные. Гомогенный тест представляет собой систему заданий возрастающей трудности, специфической формы и определенного содержания — система, создаваемая с целью реализации объективного, качественного и эффективного метода оценки структуры и измерения уровня подготовленности учащихся по одной учебной дисциплине [8]. Гетерогенный тест представляет собой систему заданий для измерения уровня подготовленности обучаемых по нескольким учебным дисциплинам.

Остальные две формы обучения, повышения квалификации и проверки знаний являются более сложными для выполнения. В основе таких систем всегда лежит имитационная многофункциональная модель, на которой воспроизводятся процессы управления и движения, происходящие в реальной жизни [9].

Основой имитационной модели является база знаний сбойных ситуаций, благодаря которой возможно реализовать обучение, повышение квалификации и проверку знаний оперативных работников ГРТС. База знаний — база данных, содержащая информацию о человеческом опыте и знаниях в некоторой предмет-

ной области и правила ее предоставления, в данном случае, в области сбойных ситуаций ГРТС.

К базе знаний сбойных ситуаций должны быть предъявлены следующие требования [10]:

1. В базе знаний сбойных ситуаций должен храниться набор тем, содержащих сценарии развития ситуаций, для обучения и проверки знаний оперативных работников ГРТС: дежурного по станции, поездного диспетчера (ДЦХ-1) и др.

2. В базе знаний для ликвидации сбойной ситуации должны содержаться команды управления, предусмотренные Правилами технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации, Инструкцией по сигнализации на железных дорогах Российской Федерации, Инструкцией по движению поездов и маневровой работе на железных дорогах Российской Федерации, Инструкцией по движению поездов и маневровой работе на метрополитенах Российской Федерации, Правилами технической эксплуатации метрополитенов Российской Федерации.

3. Рассматриваемые сбойные ситуации должны отражать ситуации, которые требуют принятия решения со стороны оперативных работников ГРТС.

4. Ситуации в базе знаний должны отличаться друг от друга расстановкой и количеством поездов/транспортных средств на рассматриваемой линии метрополитена/участке, местом расположения неисправности на рассматриваемой линии метрополитена/участке.

5. База знаний должна содержать информацию о:

- приеме, отправлении, пропуске транспортных средств, производстве маневровых работ как при неисправности устройств сигнализации, централизации и блокировки на остановочных пунктах, так и при их нормальной работе;
- выдаче предупреждений операторам транспортных средств ГРТС;
- формировании и движении хозяйственных транспортных средств ГРТС;
- подаче электроподвижного состава на пути строящихся участков;
- производстве маневров на станциях;
- приеме и отправлении транспортных средств в условиях производства ремонтно-строительных работ на железнодорожных путях и сооружениях.

Форма с применением абстрактных событийных моделей направлена на изучение основ управления движением транспортных средств без привязки непосредственно к объекту, например, конкретной линии метрополитена. Событийность заключается в прерывании течения времени при наступлении некоторого события, например, при необходимости заполнения формы приказа и т.д. Обучение и повышение квалификации на такой форме возможно в виде сценариев

с определенной заданной последовательностью событий, выдаваемых такой моделью. С помощью этой модели может быть получена оценка квалификации оперативного персонала путем оценивания строгости выполнения последовательности команд заданного сценария.

Форма обучения и повышения квалификации оперативного персонала ГРТС с применением моделей реального объекта ГРТС, работающих в реальном времени, предполагает создание модели реального объекта (например, линии метрополитена в Тренажере поездного диспетчера [11–13]) с описанием работы всех технических средств и объектов ГРТС, участвующих в процессе управления движением. При этом степень детализации процессов, происходящих в объектах и технических средствах, может быть различна. Например, она может быть построена по принципу черного ящика или предполагать детальное моделирование всех процессов, происходящих с рассматриваемым объектом или техническим средством, с учетом взаимосвязи с другими объектами ГРТС. Обучение и проверка знаний при этом предполагает импровизированное развитие ситуации, получаемое в результате выполнения команд обучаемого, либо развитие ситуации по четкому заданному сценарию.

Особенностью задач управления совокупностью поездов ГРТС является многовариантность. Одна ситуация может развиваться по нескольким сценариям. В этом случае создаваемый диспетчером оперативный график движения поездов является межобъектовым сценарием, составленным для группы объектов и режимов их совместного функционирования, включает в себя локальные сценарии, построенные для каждого из объектов. Это должно найти отражение в разработанной структуре типов подаваемых команд.

В ходе занятий диспетчер формирует сценарий управления в зависимости от цели управления и правила выбора управляющих воздействий, в нем присутствует субъект управления (оперирующая сторона), активные действия которого направлены на достижение поставленной цели. Сценарий, приводящий к правильной организации движения поездов в сложившейся ситуации, описывается набором правильных команд. Наличие нескольких вариантов правильного с этой точки зрения развития ситуации, их ветвления приводит к необходимости учета дополнительных условий и ввода понятия эквивалентности команд.

Под сбойными ситуациями будем понимать инциденты, т.е. события на ГРТС, возникшие при движении поездов или выполнении маневровой работы вследствие опасных отказов технических средств,

ошибок локомотивных бригад и железнодорожного персонала, служб обеспечения и управления движением, недопустимых внешних воздействий, которые могли закончиться, но не закончились транспортным происшествием:

- взрез стрелки;
- приём поезда на занятый путь;
- отправление поезда на занятый перегон;
- проезд запрещающего сигнала или предельного столбика;
- обрыв автосцепки подвижного состава и т.д.

Функциональная модель процессов, выполняемых в ходе обучения оперативного персонала

Анализ процессов обучения, повышения квалификации и проверки знаний оперативного персонала позволяет сформировать перечень процессов, выполняемых в ходе обучения оперативного персонала ГРТС:

1. Процесс формирования исходных данных для обучения.
2. Процесс проведения тренировочных занятий.
3. Процесс оценки знаний и навыков оперативного персонала.
4. Процесс формирования отчетной документации.

Функциональная модель процессов, выполняемых в ходе обучения, представлена на рис. 1. Рассмотрим данные процессы более подробно.

Процесс формирования исходных данных для обучения

В качестве примера рассмотрим Московский метрополитен, на котором проводятся тренировочные занятия как по теоретической оценке знаний (техническая учеба), так и по практическому применению знаний в организации движения и обслуживании пассажиров при нормальной работе устройств и в условиях отказа технических средств (тренировочные и аварийные игры).

Теоретическая оценка знаний оперативных работников представляет собой техническую учебу, которая проводится с целью периодического обновления знаний работников по должностным инструкциям с последующей проверкой этих знаний. Техническая учеба проводится Главным диспетчером или его заместителем с поездными диспетчерами, старшими поездными диспетчерами и поездными диспетчерами-централизаторами в их свободное от основной работы время.

Обучение проводится в соответствии с определенным графиком. Перечень вопросов для тренировочных игр утверждается на два года, затем из него формируется перечень вопросов на один квартал. В

связи с этим приведем классификацию тренировочных ситуаций по темам (рис. 2), для которых следует организовывать обучение в интегрированной системе. На рис. 2 определены темы в соответствии с требованиями, предъявляемыми к базе знаний сбойных ситуаций, а также являющиеся актуальными для Московского метрополитена:

1. Движение в неправильном направлении.
2. Организация двустороннего движения на перегоне.
3. Движение вспомогательных поездов.
4. Движение поездов при снижении видимости или затоплении пути.
5. Обнаружение людей на путях в период движения поездов.
6. Затопление.



Рис. 1. Функциональная модель процесса обучения оперативного персонала ГРТС

7. Движение поездов при прекращении действия основных средств сигнализации.

8. Маневровые передвижения на станциях.

Для каждой темы определены соответствующие ситуации, которые отличаются друг от друга расстановкой и количеством поездов на рассматриваемой линии метрополитена/участке, местом расположения неисправности на рассматриваемой линии метрополитена/участке.

Для ликвидации сбойных ситуаций база знаний предусматривает наличие команд, которые может предпринять оперативный работник. Каждая введенная поездным диспетчером команда подразумевает выполнение определенных действий. Выполнение команд, подаваемых диспетчером, имеет своё отражение в моделируемой системе. В соответствии с ИДП следует реализовать взаимодействие поездного диспетчера со следующими работниками линии:

- диспетчером-централизатором, диспетчером (станционный) поста централизации (ДСЦП);
- дежурным по станции;
- машинистом;
- работниками линейного пункта.

Общий вид команд управления представлен на рис. 3, на котором отображено, что команда состоит из нескольких составляющих: адресат, текст команды и объект. Под адресатом понимается объект, которому дается команда на выполнение, а объектом является сущность, которой управляет адресат. На рис. 3 изображен общий вид команд, а также пример команды поездного диспетчера, которая дается ДСЦП в случае необходимости закрытия светофора. В данной команде адресатом является ДСЦП выбранной станции, а объектом управления адресата — светофор, который необходимо закрыть.

Процесс проведения тренировочных занятий

Процесс проведения тренировочных занятий складывается из следующих основных составляющих:

- процесс проведения теоретических занятий;
- процесс проведения практических занятий.

Теоретическая оценка знаний представляет собой техническую учебу. В ходе технической учебы проводится проверка знаний работниками ПТЭ, ИДП, ИСИ и должностных инструкций согласно квартальной тематике технической учебы методом опроса без выставления оценок. В случае неполного или неправильного ответа опрашиваемого работника руководитель предлагает дополнить или исправить ответ другому работнику и т.д. В случае затруднения работников с правильным ответом руководитель проводит

подробный разбор освещаемой темы с пояснением правильного ответа.

По итогам теоретического обучения проводится оценка знаний работников ГРТС в форме тестирования по опросным листам, где по каждому вопросу нужно выбрать правильный ответ из нескольких возможных. За ответ на каждый вопрос выставляется оценка (1 (один) балл или 0 (ноль) баллов). В конце ставится общая оценка знаний работника: «зачет» или «незачет» с указанием набранных баллов.

Процесс проведения практических занятий представляет собой тренировочные игры, основной целью которых является проверка умения организации движения при нарушении нормальной работы линии и организации ликвидации самого нарушения согласно требованиям должностных инструкций. Модель процесса проведения практического занятия приведена на рис. 4.

В тренировочной игре участвуют тренер и тренируемый, у каждого имеется по одинаковому тренировочному листу планового графика движения. Тренер задает одну из ситуаций нарушения нормальной работы линии (перечень ситуаций см. ниже), симулирует сообщения от работников линии, принимает команды от тренируемого, на своем листе планового графика записывает карандашом всю поступающую к нему и исходящую от него информацию и отмечает карандашом текущее поездное положение в реальном масштабе времени. Тренируемый принимает симулируемые сообщения и реагирует на них, выдавая голосовые команды, на своем листе планового графика записывает карандашом принимаемые сообщения и передаваемые команды с указанием времени и отмечает карандашом текущее поездное положение.

Процесс оценки квалификации оперативного персонала ГРТС

При проведении тестирования одним из способов оценки результатов может быть следующая форма: за каждый правильный ответ на вопрос (теоретический или практический) присваивается 1 (один) балл, за неправильный ответ — 0 (ноль) баллов. Если общая сумма баллов составит 70% и более от общего числа вопросов, работник получает «зачет», если менее 70% — «незачет». Если по итогам проведения тренировочных занятий работник получил «незачет», то необходимо не позднее, чем через 15 рабочих дней организовать повторное проведение тренировочных занятий. В случае, если работник по итогам повторных тренировочных занятий получил «незачет», то руководство должно принять решение о соответствии работника занимаемой должности.

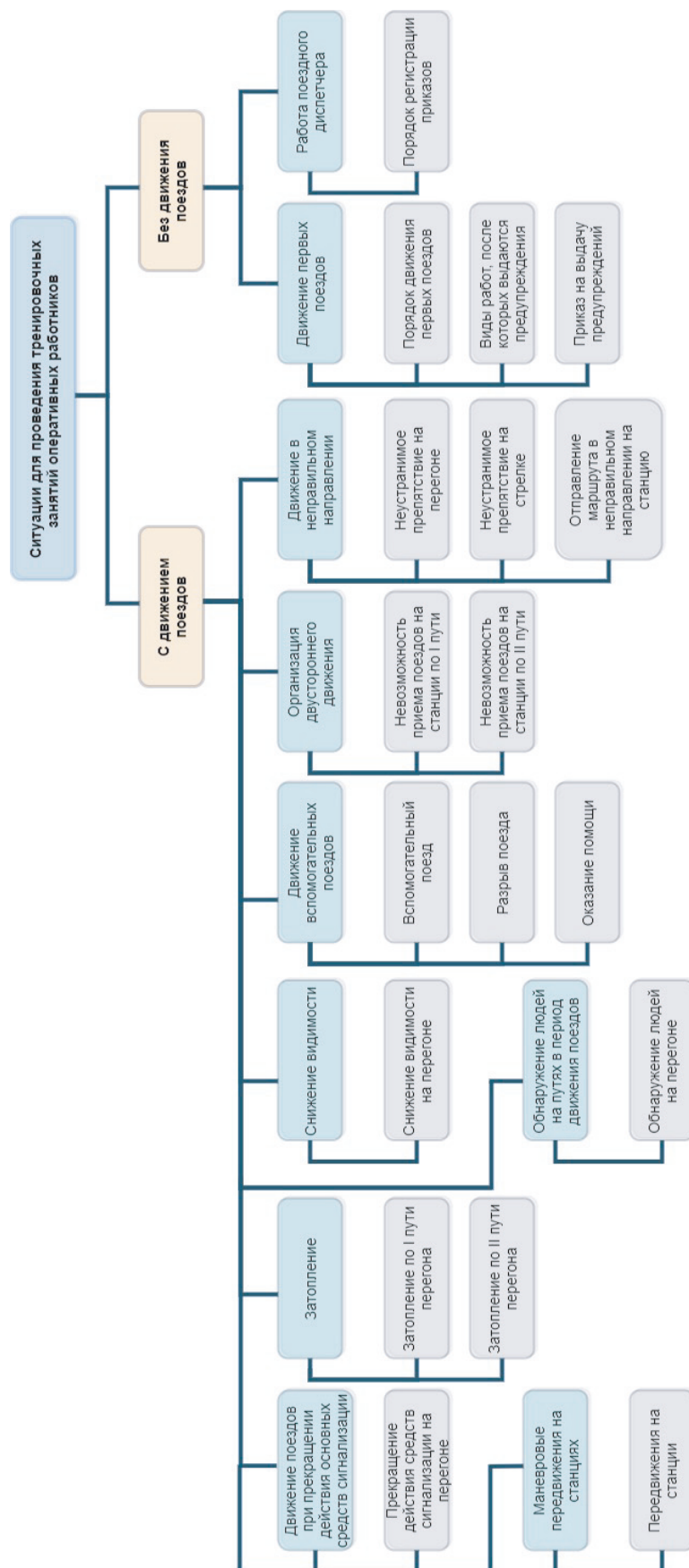


Рис. 2. Классификация сбойных ситуаций по темам



Рис. 3. Общий вид команд управления

При применении имитационной модели в процессе проверки знаний оперативных работников оценка их действий должна происходить по более сложной схеме. На рис. 5 предложен процесс оценки команд, выдаваемых оперативным персоналом в ходе проведения практического занятия.

По результатам игры оцениваются действия тренируемого по полноте и своевременности отдачи необходимых команд по организации ликвидации нарушения, по полноте и своевременности отдачи команд по регулированию движения поездов. Оценка производится по балльной системе: за каждый правильный ответ присваивается 1 (один) балл, за неправильный ответ — 0 (ноль) баллов. Если сумма баллов составит 70% и более от общего числа вопросов, работник получает «зачет», если менее — «незачет». В том случае, если в ходе проведения практического занятия обучаемый выдает опасную команду, или не поступает необходимая команда и в результате ухудшается ситуация или нарушается безопасность движения, то тренировочное занятие прекращается и считается выполненным с оценкой «незачет».

Процесс формирования отчетной документации

Процесс формирования отчетной документации связан с оформлением акта проведения обучения, повышения квалификации и оценки знаний оперативного персонала ГРТС — основным документом, содержащим результаты обучения. Акт имеет стандартизированный вид и подписывается обучаемым и тренером.

Основные принципы интеграционного подхода в обучении оперативных работников ГРТС

В условиях современного интенсивного движения ГРТС для оперативного персонала, связанного с процессом организации движения поездов, необходимо:

1. Проводить проверку знаний, навыков и умений оперативного персонала ГРТС по принятию правильных решений в условиях чрезвычайных ситуаций.
2. Повышать и проверять квалификацию работников ГРТС, которая определяется действиями, предпринимаемыми как при нормальной работе транспортной системы, так и при возникновении сбоя. Порядок действий оперативных работников в нормальных условиях повторяется, поэтому в основном не вызывает затруднений. Если же происходит чрезвычайная ситуация, то диспетчер должен предпринять соответствующие предписанные инструкциями меры, чтобы привести ситуацию в нормальное состояние.
3. Обучать новых сотрудников для обеспечения резерва кадрового состава оперативных работников ГРТС.

Для повышения качества обучения и повышения квалификации оперативных работников и, как следствие, для повышения безопасности движения, необходимо использовать интеграционный подход, который требует формирования:

- единой структуры системы обучения, обеспечивающей оперативность и гибкое обучение работников ГРТС на различных моделях с применением современных средств и подходов;

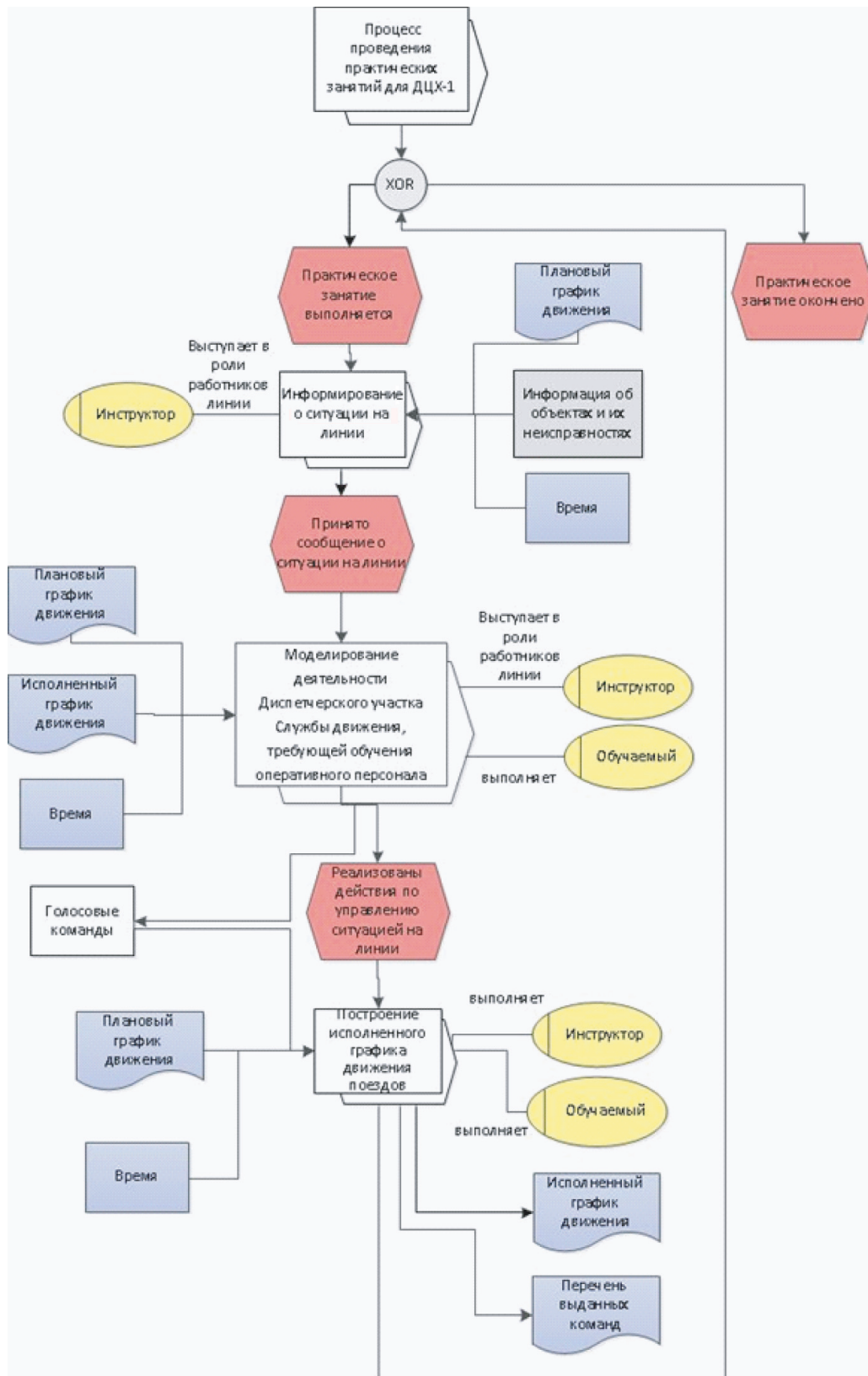


Рис. 4. Модель процесса практического обучения для ДЦХ-1

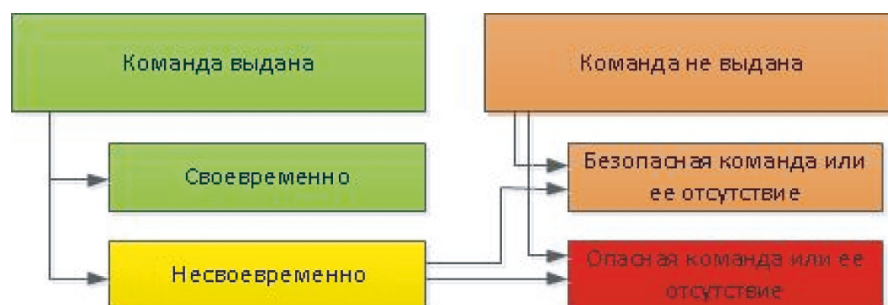


Рис. 5. Классификация команд, выдаваемых оперативным персоналом в ходе проведения практического занятия

- единой и четкой информационной системы, включающей в себя стандартизованные материалы обучения;

- единых показателей качества обучения;
- единых правил подготовки методического материала для обучения оперативных работников, позволяющих определить совокупность требуемых заданий и рассматриваемых сбойных ситуаций.

Применение интеграционного подхода позволяет обеспечивать целостность и системность процесса обучения, повышения квалификации и контроля знаний оперативного персонала ГРТС. Реализация процесса интеграции предполагает проведение качественного преобразования структуры и алгоритмов каждого элемента системы.

Интегрированная автоматизированная система обучения и оценки знаний оперативного персонала ГРТС, включает в себя следующие подсистемы:

- модель движения транспортных средств;
- конфигурирование модели движения транспортных средств и сценариев;
- проведение игры;
- администрирование.

Подсистема «Модель движения транспортных средств» предназначена для моделирования обстановки на линии/участке в заданном интервале времени с учетом последовательности различных событий, определяемых сценарием игры.

Подсистема «Конфигурирование модели движения транспортных средств и сценариев» предназначена для ввода и редактирования объектов модели, методов работы с ними, взаимосвязей объектов модели движения, событий, разработки форм для графического отображения объектов модели и их состояния, для разработки сценариев игры.

Подсистема «Проведение игры» предназначена для реализации процесса проведения обучения персонала управлению движением транспортных средств в соответствии с выбранным сценарием.

Подсистема «Администрирование» предназначена для управления работой Тренажера, архивирования данных, управления пользователями.

Выводы

На сегодняшний день накопленный опыт по обучению и проверке знаний оперативного персонала ГРТС дает возможность применения интеграционного подхода при создании Интегрированной автоматизированной системы обучения и оценки знаний оперативного персонала ГРТС.

В основе интеграционного подхода прежде всего лежит использование широкого спектра цифровых технологий на всех уровнях использования системы обучения и оценки знаний оперативного персонала, а именно:

- в процессе задания исходных данных для тренировочного занятия;
- в процессе проведения тренировочного занятия;
- в процессе оценки знаний и умений по организации движения оперативного персонала;
- в процессе получения отчетной документации.

Автоматизация перечисленных процессов позволяет получить удобный инструмент, существенно облегчающий процесс проведения тренировочных занятий.

Интегрированная автоматизированная система обучения и оценки знаний оперативного персонала ГРТС, реализованная с помощью интеграционного подхода, позволит сформировать новые навыки у

работников ГРТС и повысить их квалификацию и оперативность работы, а также появится возможность для быстрого обучения персонала. 

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, НТУ «Сириус», ОАО «РЖД» и Образовательного Фонда «Талант и успех» в рамках научного проекта № 20-37-51001.

Литература

1. Railroad Dispatcher Communications Training Materials. U.S. Department of Transportation. Federal Railroad Administration. Office of Research and Development Washington, DC 20590. URL: <https://ntlreposit-ory.blob.core.windows.net/lib/42000/42300/42373/ord0312.pdf>
2. Reinach S.; Gertler J. Technical Reports DOT/FRA/ORD-98/08: Training Requirements for Railroad Dispatchers: Objectives, Syllabi and Test Designs. U.S. Department of Transportation. Federal Railroad Administration. Office of Research and Development Washington, DC 20590. URL: <https://railroads.dot.gov/elibrary/training-requirements-railroad-dispatchers-objectives-syllabi-and-test-designs>
3. Lidén T. Railway Infrastructure Maintenance – A Survey of Planning Problems and Conducted Research. // Conference: 18th Euro Working Group on Transportation, EWGT. – The Netherlands, At: Delft. – 2015. – Volume: Transportation Research Procedia 10 (2015). – Pp. 574 – 583. DOI: 10.1016/j.trpro.2015.09.011 URL: https://www.researchgate.net/publication/237748277_UNDERSTANDING_HOW_RAILROAD_DISPATCHERS_MANAGE_AND_CONTROL_TRAINS_A_COGNITIVE_TASK_ANALYSIS_OF_A_DISTRIBUTED_TEAM_PLANNING_TASK
4. Agent-based evacuation simulation from subway train and platform URL: <https://doi.org/10.1080/19-439962.2019.1634661>
5. Логинова, Л.Н. Роль системы автоматизированной проверки знаний поездных диспетчеров линии метрополитена в повышении качества обучения/ Л.Н. Логинова // Наука и техника транспорта. – 2011. – № 1. – С. 62–65.
6. Логинова, Л.Н. Цифровизация образования оперативного персонала, связанного с обеспечением безопасности движения поездов/ Л.Н. Логинова // Межвузовский сборник научных трудов «Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта». – М.: РУТ (МИИТ). – 2020. – С. 334–338.
7. Аванесов, В.С. Контент образовательных технологий в задачах формирования профессиональных компетенций/ В.С. Аванесов, В.И. Балаба, В.Я. Кершенбаум // Компетентность. – 2015. – № 3(124). – С. 3–9.
8. Аванесов, В.С. Применение тестовых форм в новых аттестационных технологиях/ В.С. Аванесов // Современная высшая школа: инновационный аспект. – 2014. – № 4. – С. 4–15.
9. Балакина, Е.П. Перспективы использования многофункциональных моделей/ Е.П. Балакина, Л.А. Баранов // Мир транспорта. – 2012. – № 2. – С. 70–74.
10. Baranov L., Loginova L. Using models of complex systems in training. // International Scientific and Practical Conference «Modeling in Education 2019» AIP Conference Proceedings 2195, 020001 (2019). <https://doi.org/10.1063/1.5140101>
11. Baranov L., Sidorenko V. Simulation Complex for Training and Supporting the Decision Maker in Subway Train Traffic Control Systems. // 18th Dresden Conference of Traffic and Transport Sciences. – Germany, Dresden. – 17-18.9.2001.
12. Баранов, Л.А. Тренажер поездных диспетчеров линий московского метрополитена/ Л.А. Баранов, В.Г. Сидоренко // Железные дороги мира. – 2002. – № 8. – С. 64–69.
13. Баранов, Л.А. Автоматизированная система в перевозочном процессе/ Л.А. Баранов, А.В. Ершов, В.Г. Сидоренко // Мир транспорта. – 2005. – № 3. – С. 108–113.

ОБЗОР МЕТОДОВ РАСЧЕТОВ КОТЛОВ ЦИСТЕРН НА ДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ



К.А. Сергеев



М.Н. Пинт

В статье приведены методы расчетов котлов цистерн на динамические нагрузки. Проанализированы научные работы, учебники и учебные пособия в области динамики вагонов. Выявлено, что на современном этапе метод конечных элементов применяется чаще всего и реализован в программных комплексах для решения сложных задач.

Ключевые слова: подвижной состав, котел цистерны, динамические нагрузки, метод конечных элементов, аналитическая механика

От железнодорожных грузоперевозок страны зависят многие структуры, такие как экономика, промышленность, что позволяет сделать вывод о том, что транспорт является важным фактором жизнеобеспечения общества всеми необходимыми благами.

В настоящее время является актуальной проблема обеспечения безопасности движения поездов при перевозке опасных грузов. К опасным грузам относятся кислоты, сжиженные и растворенные газы, спирты, красители, лаки, легковоспламеняющиеся жидкости.

Совершенствование конструкции вагона позволит повысить безопасность движения поездов. Совершенствование осуществляется за счет изготовления котлов повышенной прочности, применения

конструкционных материалов, устойчивых к агрессивным средам. Для того чтобы подойти к вопросу об изменении конструкции вагона, необходимо произвести расчет вагона на динамические нагрузки.

Существуют работы, посвященные методам расчетов динамических нагрузок, однако, необходимо изучить эту тему на примере котлов цистерн. В этом заключается научная новизна исследования.

Целью данной работы является теоретическое исследование методов расчетов котлов цистерн на динамические нагрузки.

Динамические нагрузки имеют свойство быстро изменяться во времени. При возрастающей нагрузке учитываются силы инерции, появляющиеся в результате деформирования системы. Расчет на динамические нагрузки производится для того, чтобы обеспе-

Сергеев Константин Александрович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Нетяговый подвижной состав» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: технологическая подготовка производства вагоноремонтных предприятий. Автор 134 научных работ, в том числе двух монографий.

Пинт Марина Николаевна, аспирант кафедры «Нетяговый подвижной состав» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: динамическая нагруженность вагонов, внедрение технологий в вагоноремонтное производство, реконструкция вагоноремонтного депо, технология «интернет вещей» в вагоноремонтном производстве, применение программных комплексов для решения задач методом конечных элементов, обеспечение безопасности перевозок в цистернах для опасных грузов. Автор трех научных работ.

Мироненко Олег Игоревич, старший преподаватель кафедры «Нетяговый подвижной состав» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: динамика систем, организация вагонной отрасли, дистанционные образовательные технологии. Автор 23 научных работ, в том числе четырех учебных пособий.

чить прочность конструкции и не допустить ее существенных деформаций.

Исследования динамики вагонов базируются на технической теории колебаний, в основе которой лежат общие принципы аналитической механики, которые используются в форме закона Ньютона и записываются как уравнения Даламбера или уравнения Лагранжа второго рода. Любой элемент конструкции рассматривается как находящийся в равновесии под действием внешних сил, усилий, представляющих собой действие соседних элементов, и сил инерции.

В учебнике «Динамика вагона» под редакцией С.В. Вершинского [3] изложены общие методы изучения динамики вагона, которые базируются на принципах аналитической механики:

1. Методы оценки устойчивости по А.М. Ляпунову;
2. Методы электронного моделирования и цифрового моделирования;
3. Аналитические методы интегрирования дифференциальных уравнений;
4. Численные методы интегрирования дифференциальных уравнений, которые изображены в таблице.

Интегрирование сложных систем нелинейных дифференциальных уравнений возможно при помощи численных методов. Одним из удобных и простых методов для реализации в программных комплексах является разностно-итерационный метод интегрирования нелинейных систем дифференциальных уравнений второго порядка, разработанный в МИИТе профессором В.Д. Хусидовым [5].

Ю.М. Черкашин проводит исследование динамики груженой цистерны по расчетной схеме, разработанной для грузовых вагонов (рисунок).

Жидкость заменяется равнозначным твердым телом. Инерционные характеристики твердого тела высчитываются по формулам Н.Е. Жуковского. Ю.Н. Черкашин в своей работе [6] утверждает, что рас-

четная схема для исследования динамики частично заполненной цистерны может быть представлена в виде динамической системы «твердое тело+жидкость» с бесконечным числом степеней свободы. По этой расчетной схеме движение частично заполненной цистерны описывается бесконечной системой обыкновенных дифференциальных уравнений. Исследование влияния колеблющейся жидкости на динамику цистерны сводится к определению влияния жидкости на вращательное колебание надрессорного строения вагона относительно горизонтальной продольной оси, проходящей через его центр тяжести.

С.В. Беспалько изучил нагруженность конструкции цистерны для перевозки опасных грузов по разработанной математической модели [1] с учетом жидкого груза на основе теории мелкой воды. Решение задач проводилось с применением численных методов: вариационных методов, включая метод конечных элементов, методов численного интегрирования систем дифференциальных уравнений.

Методика расчета сил, действующих на котел при гидроударе, приведена в работе В.И. Богачева [2]. Математическая модель гидроудара внедряется в математическую модель колебаний вагона-цистерны с учетом колебаний жидкого груза. Это позволило установить связь между уравнениями колебаний жидкости и уравнениями движения твердых частей вагона.

В.Н. Котуранов в работе [4] проанализировал известные методы расчета оболочек вращения. Оболочкой вращения называется тело, у которого толщина намного меньше его других измерений. Автор разработал рекомендации по их применению к расчету котлов цистерн в соответствии с конструктивными особенностями и видами нагружения. При расчетах рассматриваются такие виды нагрузок, как нагружение внутренним давлением, вакуум внутри котла, нагрузки при подъеме груженого вагона, соударение (аварийное) в груженом состоянии, сжатие и растяжение при дви-

Таблица

Численные методы интегрирования дифференциальных уравнений

Численные методы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений	Численные методы интегрирования дифференциальных уравнений в частных производных
1. Метод Рунге-Кутты	1. Метод сеток
2. Итерационные методы Эйлера-Коши	2. Метод Канторовича (метод прямых)
3. Разностные методы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений	

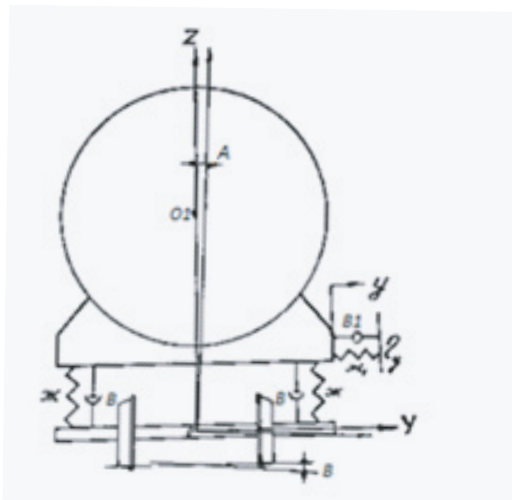


Рисунок. Расчетная схема вагона-цистерны:

A – угол боковой качки; z – подпрыгивание центра масс системы; y – боковое перемещение надрессорной балки вместе со шкворнем котла; j – вертикальная жесткость половины рессорных комплектов; j_1 – горизонтальная жесткость всех рессорных комплектов тележек

жении. Базируясь на данной работе, ученые переходят к дальнейшему совершенствованию методик расчета.

Г.Ф. Чугунов применил методы строительной механики (метод перемещений, метод сил, смешанный

метод) к расчету котлов цистерн [7], подкрепленных шпангоутами. Решение задачи выполняется методом конечных элементов. Известно, что при этом исходные дифференциальные уравнения могут быть непосредственно получены путем минимизации выражения для потенциальной энергии деформации. Это позволило избежать математических затруднений, связанных с интегрированием дифференциальных уравнений.

М.П. Козловым разработана конечно-элементная модель определения напряжений в цилиндрических частях котлов [4]. Проведены расчеты оболочки котла цистерны с применением подхода полубезмоментной теории оболочек. Получена система интегро-дифференциальных уравнений, отражающих уравнения равновесия бесконечно малого элемента оболочки. Доказано, что результаты, полученные с помощью метода конечных элементов, сходятся с результатами, с применением полубезмоментной теории оболочек.

Рассмотрев основные методы расчета котлов цистерн на динамические нагрузки, необходимо сказать, что специализированные программные комплексы, такие как SolidWorks, Nastran, Femap базируются на методе конечных элементов. Главным его преимуществом является то, что области любой формы можно разбить на конечные элементы и рассчитать напряжения и деформации в реальных деталях с учетом их конструктивных нерегулярностей.



Литература

1. Беспалько, С.В. Разработка и анализ моделей повреждающих воздействий на котлы цистерн для перевозки криогенных продуктов : дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.07 / С.В. Беспалько. – М., 2000. – 427 с.
2. Богачев, В.И. Моделирование процесса развития внутреннего давления в котле цистерны и напряженного состояния днища при маневровом соударении: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / В.И. Богачев. – М., 2014. – 173 с.
3. Вершинский, С.В. Динамика вагона: учебник для вузов ж.-д. трансп. / С.В. Вершинский, В.Н. Данилов, В.Д. Хусидов; под ред. С.В. Вершинского. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1991. – 360 с.
4. Котуранов, В.Н. Определение напряжений в оболочках цилиндрических частей и днищ котлов цистерн: учебное пособие / В.Н. Котуранов, Б.Н. Покровский, М.П. Козлов. – Москва: РОАТ, 2009. – 38 с.
5. Нагруженность элементов конструкции вагона / В.Д. Хусидов [и др.]; Под ред. В.Н. Котуранова. – Москва: Транспорт, 1991. – 238 с.
6. Черкашин, Ю.М. Динамика наливного транспорта / Ю.М. Черкашин. – М.: Транспорт, 1975. – 135 с. (Труды Всесоюзного научно-исследовательского института железнодорожного транспорта; Вып. 543).
7. Чугунов, Г.Ф. Теоретическое и экспериментальное исследование напряженного состояния котла безрамной цистерны, подкрепленного кольцевыми элементами жесткости : дис. ... канд. техн. наук: 05.182 / Г.Ф. Чугунов. – М., 1971. – 163 с.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОНТРАКТА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА В ХОЗЯЙСТВЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ

Для принятия решения о целесообразности применения технологий аутсорсинга и контракта жизненного цикла для производственного процесса технической эксплуатации систем железнодорожной автоматики и телемеханики предложена методика оценки уровня локализации производства систем железнодорожной автоматики на эксплуатируемом объекте железнодорожной линии. Уровень локализации рассчитывается на основе стоимости жизненного цикла этих систем.

Ключевые слова: системы железнодорожной автоматики и телемеханики, аутсорсинг, контракт жизненного цикла



А.В. Горелик



Н.В. Романов

Для повышения эффективности функционирования хозяйства автоматики и телемеханики транспортной компании, в частности ОАО «Российские железные дороги», требуется обоснованное применение различных прогрессивных подходов к организации технического обслуживания систем и устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ). Оценить эффективность того или иного подхода с учетом мирового опыта во многих случаях позволяет технология бенчмаркинга [1;2]. Применение этой технологии к бизнес-процессам, связанным с эксплуатацией объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта, выявило актуальность проблемы обоснования целесообразности и эффективности вне-

дрения технологий аутсорсинга и контракта жизненного цикла (КЖЦ) для производственных процессов, связанных с эксплуатацией систем ЖАТ.

В настоящее время наибольший эффект приносит разумное сочетание всех существующих на железнодорожном транспорте методов технического обслуживания, причем от правильного распределения работ по технической эксплуатации систем и устройств ЖАТ между агентами различных форм собственности, организации планирования и учета выполненных работ зависит успех функционирования инфраструктуры в целом. Поэтому при выборе и обосновании системы технического обслуживания средств ЖАТ, в первую очередь микропроцессорных систем, следует руко-

Горелик Александр Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Системы управления транспортной инфраструктурой» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: эффективность функционирования и технической эксплуатации систем железнодорожной автоматики и телемеханики. Автор 337 научных работ, в том числе трех монографий и четырех учебников. Имеет 57 патентов на изобретения.

Романов Николай Вячеславович, аспирант кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (ИТТСУ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: совершенствование и оптимизация производственных процессов эксплуатации инфраструктуры железнодорожного транспорта. Автор четырех научных работ.

Курашева Гулистан Галымбаевна, аспирант кафедры «Системы управления транспортной инфраструктурой» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: анализ эффективности производственных процессов эксплуатации инфраструктуры железнодорожного транспорта. Автор трех научных работ.

водствоваться принципами специализации и разделения функций.

Существенного эффекта можно достичь развитием системы сервисного обслуживания и постепенным переходом к аутсорсингу. В этом случае транспортная компания на договорной основе передает выполнение определенных видов работ (своих производственных функций) другой компании, обладающей необходимыми ресурсами и компетенциями в соответствующей сфере деятельности. В отличие от разовых услуг, на аутсорсинг обычно передаются функции по профессиональной поддержке бесперебойной работы отдельных систем и инфраструктуры на основе длительного контракта на определенный промежуток времени (не менее года) [3;4].

В рамках локализации производственного процесса технической эксплуатации систем ЖАТ целесообразно применение аутсорсинга, а также заключения контракта жизненного цикла. Главной отличительной особенностью КЖЦ является то, что договор заключается с одним предприятием-изготовителем, которое берет на себя обязательства по реализации всего комплекса услуг — от разработки проекта и строительства до дальнейшей эксплуатации и утилизации объекта по окончании его назначенного срока службы, в том числе риски, возникающие на стадии эксплуатации.

Применение данных технологий будет наиболее эффективно в том случае, когда на рассматриваемом

участке железной дороги и перегонная и станционная система ЖАТ будут локализованы в рамках одного предприятия-производителя. При этом уровень локализации производства систем ЖАТ предлагается определять на основе методики

Данная методика на основе расчета стоимости жизненного цикла систем СЦБ [5–7] позволяет оценить уровень локализации производства систем ЖАТ на эксплуатируемом объекте железнодорожной линии (в процентах) с целью последующей оценки эффективности применения аутсорсинга и контракта жизненного цикла для организации технической эксплуатации этих систем.

Уровень локализации — это количественный показатель, характеризующий долю использования локализованных компонентов и локализованных работ на всех этапах жизненного цикла, в том числе в ходе их эксплуатации в процентном выражении. Расчет проводится для любого варианта технического исполнения систем СЦБ и каждого возможного ее производителя в отдельности с учетом его технологических и производственных мощностей, а также возможностей организации всех производственных процессов, связанных с техническим содержанием системы ЖАТ, включая ее модернизацию, капитальный ремонт и утилизацию.

Укрупненный перечень систем СЦБ, в отношении которых применима рассматриваемая методика, представлен в табл. 1.

Таблица 1

Укрупненный перечень систем и устройств железнодорожной автоматики и телемеханики

Наименование группы систем	Укрупненный измеритель
Устройства механизированных и автоматизированных сортировочных горок	Замедлитель
Системы автоматической блокировки	1 км эксплуатационной длины пути, оборудованного автоблокировкой
Системы диспетчерской централизации	1 км эксплуатационной длины пути, оборудованного диспетчерской централизацией
Системы электрической централизации	1 стрелка
Системы автоматического контроля подвижного состава на ходу поезда	1 комплект
Системы полуавтоматической блокировки	1 км эксплуатационной длины пути, оборудованного полуавтоматической блокировкой
Системы диагностики и мониторинга	Объект контроля

При расчете уровня локализации производства систем СЦБ следует учитывать, что указанные в табл. 1 системы, как правило, имеют в своем составе:

- напольное оборудование: электроприводы, световые, маршрутные указатели, релейные и батарейные шкафы, путевые ящики, переключки, дроссель-трансформаторы, кабельную сеть и др.;
- постовое оборудование: аппараты управления, стиверы, установки электропитания, аппаратуру, кабельную сеть и др.

При оценке уровня локализации производства системы СЦБ предполагается, что основным методом технического обслуживания, применяемым на объекте железнодорожной линии, является групповой (бригадный) метод. При этом комплексные бригады выполняют все регламентные работы, а также текущий ремонт напольного и постового оборудования и систем СЦБ объекта (станция, перегон, переезд и т.п.).

Оценивание стоимости жизненного цикла представляет собой процесс экономического анализа суммарной стоимости приобретения, владения и утилизации систем СЦБ. Этот анализ может быть проведен как для жизненного цикла системы ЖАТ в целом, так и для отдельных его составляющих в различных комбинациях. При этом необходимо, чтобы производство как напольного, так и постового оборудования было локализовано преимущественно на данном предприятии. Уровень локализации производства систем ЖАТ может быть оценен на основе анализа стоимости жизненного цикла системы ЖАТ.

В общем случае стоимость жизненного цикла систем СЦБ со сроком службы n лет определяется по формуле:

$$C_{\text{ЖЦ}} = C_0 + \sum_{i=1}^n C_i, \quad (1)$$

где n — количество лет полезного использования (до вывода из эксплуатации);

C_0 — величина инвестиционных издержек.

Уровень локализации производства систем ЖАТ на эксплуатируемом объекте железнодорожной линии рассчитывается по формуле:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=0}^n \alpha_i C_i}{\sum_{i=0}^n C_i} 100\% = \frac{C_n}{C} 100\%, \quad (2)$$

где C — стоимость жизненного цикла системы ЖАТ;

C_n — локализованная стоимость системы ЖАТ;

C_i — стоимость i -го года жизненного цикла системы ЖАТ;

α_i — уровень локализации затрат i -го года жизненного цикла;

n — длительность жизненного цикла в годах, для системы ЖАТ, как правило, составляет 20 лет.

Стоимость i -го года жизненного цикла системы ЖАТ рассчитывается по формуле:

$$C_i = \sum_{j=1}^{k_i} C_{ij}, \quad (3)$$

где C_{ij} — j -я составляющая (статья) затрат i -го года жизненного цикла системы СЦБ;

k_i — число различных статей затрат, составляющих стоимость C_i .

Как правило, значения величин $k_1, k_2, \dots, k_{n-1}$ совпадают, если в процессе жизненного цикла не проводится модернизация или обновление системы СЦБ в целом, либо ее отдельных компонентов; при этом величина k_0 представляет собой число различных статей затрат этапа первоначальных инвестиций, а величина k_n — число статей затрат (составляющих стоимости) последнего этапа, которые в общем случае должны включать в себя затраты на вывод из эксплуатации, списание и утилизацию системы ЖАТ.

Уровень локализации и стоимость i -го года жизненного цикла рассчитываются по формуле:

$$\alpha_i = \frac{\sum_{j=1}^{k_i} \alpha_{ij} C_{ij}}{\sum_{j=1}^{k_i} C_{ij}}, \quad (4)$$

где C_{ij} — величина j -й статьи затрат в стоимости i -го года жизненного цикла системы СЦБ;

α_{ij} — уровень локализации j -й статьи затрат в стоимости i -го года жизненного цикла системы СЦБ, который представляет собой долю стоимости компонентов, локализованных на предприятии-изготовителе, в отношении которого осуществляется оценка локализации производства системы ЖАТ.

Таким образом, по формуле (2) может быть рассчитан уровень локализации производства систем СЦБ на эксплуатируемом объекте железнодорожной линии α , при этом C_0 составляет стоимость технических средств вплоть до сдачи объектов в эксплуатацию, а коэффициент α_0 — уровень локализации производства системы СЦБ на предприятии-изготовителе, в отношении которого осуществляется оценка локализации производства системы СЦБ, без учета процессов эксплуатации и утилизации.

Заключение КЖЦ для системы ЖАТ можно считать целесообразным в случае, если уровень локализации систем СЦБ на эксплуатируемом объекте железнодорожной линии соответствует минимально допустимому значению для систем СЦБ (85%) либо

превосходит указанное значение. Также объем работ по технической эксплуатации системы ЖАТ на эксплуатируемом объекте железнодорожной линии (в технических единицах) должен составлять не менее 95% от объемов регламентных работ по техническому обслуживанию устройств и систем СЦБ в соответствии с [8] для данного объекта.

Предложенная методика может использоваться для принятия решения о целесообразности применения технологий аутсорсинга, сервисного обслуживания и контракта жизненного цикла при осуществлении технической эксплуатации систем СЦБ. 

Литература

1. Логинова, Е.Ю. Бенчмаркинг — инструмент развития конкурентных преимуществ / Н.А. Воеводина, А.В. Кулагина, Е.Ю. Логинова, В.Б. Толберг. — Саратов: Научная книга, 2009. — 250 с.
2. Прудников, А.А. К вопросу о применении бенчмаркинга на железнодорожном транспорте / А.А. Прудников, Е.А. Макарова // Сибирская финансовая школа. — 2015. — №2 (109) март-апрель. — С. 78–80.
3. Журавлева, Н.А. Аутсорсинг как механизм повышения конкурентоспособности компаний железнодорожного транспорта / Н.А. Журавлева // Экономика железных дорог. — 2007. — №9. — С. 66.
4. Киященко, Т.А. Экономическая эффективность применения аутсорсинга на железнодорожном транспорте / Т.А. Киященко, И.К. Логвинова // Наука и образование: хозяйство и экономика; предпринимательство; право и управление. — 2020. — №12 (127). — С. 40–42.
5. Никитин, А.Б. Метод расчета стоимости жизненного цикла систем железнодорожной автоматики и телемеханики / А.Б. Никитин, И.В. Кушиль // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2018. — Т.15, №1. — С. 117–129.
6. Горелик, А.В. Особенности оценки стоимости жизненного цикла систем железнодорожной автоматики / Г.Г. Курашева, А.В. Горелик // Наука и бизнес: пути развития. — 2020. — №4(106). — С. 37–41.
7. Горелик, А.В. Оценка стоимости жизненного цикла систем железнодорожной автоматики и телемеханики на основе методологии УРРА/ А.С. Веселова, А.В. Горелик, И.А. Журавлев, П.А. Неваров, А.В. Орлов, П.В. Савченко, Д.В. Солдатов, Н.А. Тарадин // ВИНТИ РАН Депонированная рукопись №160-в2016 28.11.2016.
8. Инструкция по техническому обслуживанию и ремонту устройств и систем сигнализации, централизации и блокировки, утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 30.12.2015 г. №3168р (в ред. распоряжения ОАО «РЖД» от 18.02.2019 №286/р).

АЛГОРИТМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ МЕРОПРИЯТИЙ СНИЖЕНИЯ РИСКОВ НАРУШЕНИЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ В ХОЗЯЙСТВЕ ПУТИ

Статья ориентирована на разработку алгоритмов для автоматизации выбора мероприятий по снижению рисков нарушений безопасности движения поездов в подсистеме верхнего строения пути. Представлены основы схем и алгоритмов для разработки автоматизированной системы, в которой уточнены способы оценки и вклады факторов, позволяющие избежать как недооценки, так и переоценки рисков, что необходимо для разработки более точных корректирующих мероприятий.

Ключевые слова: безопасность движения поездов, перевозочный процесс, риск, фактор, вклад, алгоритм, цифровизация, схема



О.И. Веревкина



О.Н. Попов

Поставленные руководством страны задачи по цифровизации процессов функционирования предприятий, для железнодорожного транспорта, касаются непосредственно такой области как безопасность движения поездов и в частности автоматизация выбора мероприятий по снижению рисков нарушений безопасности движения (НБД) поездов, как на уровнях дирекций, так и на уровнях линейных предприятий.

Решение задачи повысит динамичность в управлении рисками, а следовательно и устойчивость перевозочного процесса.

Сложность поставленной задачи требует отказа от алгоритмов линейного типа и сборки алгоритмов, построенных на основе сложных схем, приведенных ниже. Дополнительной сложностью является нечет-

кость в ряде случаев идентификации причин НБД. Тем не менее, накопление данных отраслевых АСУ позволяет формулировать и требования к алгоритмам и наполнять содержанием тестовые проверки работоспособности алгоритмов в ручном режиме.

Центральное требование к алгоритмам — соответствие отраслевым стандартам серии «Управление ресурсами, рисками, анализ надёжности» (УРРАН), разрабатываемым железнодорожными научными подразделениями.

Прочие требования к алгоритмам (принципы формирования) следующие:

1. Алгоритмы строятся не только на основе существующих нормативных документов по оценке рисков, но и на основе результатов упомянутой выше оценки, с учетом оценки функциональных рисков НБД поез-

Веревкина Ольга Ивановна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой» Ростовского государственного университета путей сообщения (РГУПС). Область научных интересов: исследования по обеспечению безопасности движения на железнодорожном транспорте. Автор 58 научных работ.

Попов Олег Нестерович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории «Техногенная безопасность» научно-исследовательского и испытательного центра (НИИЦ) «Криотрансэнерго» Ростовского государственного университета путей сообщения (РГУПС). Область научных интересов: оценка рисков нарушений безопасности движения поездов, расчёты конструкций, математические модели. Автор 19 научных работ.

Денисов Владимир Васильевич, кандидат военных наук, доцент кафедры «Комплексная безопасность и специальные программы» Российской академии путей сообщения Российского университета транспорта (РАПС РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: транспортная безопасность, специальные программы. Автор 14 научных работ.

дов и с учетом оценки вклада каждого из факторов, признанного влияющим на безопасность движения поездов [1].

2. Алгоритм учитывает планы предприятия по содержанию пути и объектов инфраструктуры.

3. В перспективе программа формирования мер по снижению рисков должна быть интегрирована в автоматизированную систему управления инфраструктурой (АСУ И).

Укрупненная схема алгоритмов представлена на рис. 1.

В соответствии со схемой, должны быть решены задачи:

1. Автоматической оценки функциональных рисков и факторного анализа на линейном предприятии;

2. Определены критерии по выбору риск-факторов, нуждающихся в корректировке.

При решении первой задачи должен быть выполнен факторный анализ и определен вклад каждого фактора.

Задачи по оценке функциональных рисков и факторного анализа подробно рассматривались в [1–4]. Алгоритм строится в соответствии со схемой решения задачи. Помимо шагов, описанных в [1–4], необходимо определение вкладов каждого фактора. Одним из промежуточных этапов является определение точности, с которой производится оценка вклада фактора в общую величину риска.

Основным этапом алгоритмизации является алгоритмизация оценки рисков в области функциональной безопасности движения на инфраструктуре ОАО «РЖД» для управления пути и сооружений. Оценка содержит этапы, представленные на рис. 2 [5].

Как видно, алгоритмизация состоит из алгоритмизации укрупненных этапов 1–7, с интегрированием их в единую автоматизированную систему, с формированием выходных данных, в соответствии с рис. 1.

В соответствии со схемами на рис. 1,2, алгоритмизации подлежит как сбор информации из отраслевых систем, так и алгоритмизация моделирования

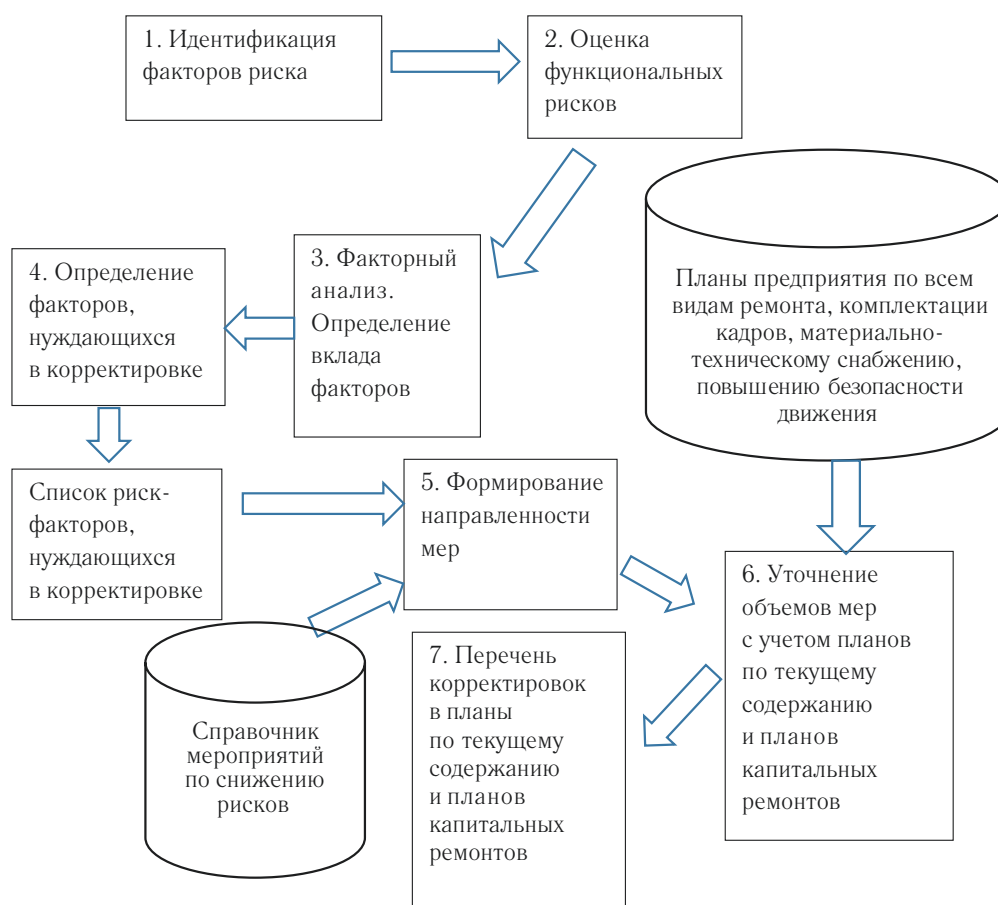


Рис. 1. Укрупненная схема алгоритма автоматизированного формирования мер по снижению рисков

вероятности и риска с помощью деревьев событий (которая проводится для формирования модели, адекватно описывающей процесс возникновения НБД для определения рисков по каждому идентифицированному фактору, анализа динамики риска по наиболее значимым факторам, формирования приоритетных направлений реализации корректирующих мероприятий). Существо этапов 1–7 подробно описано в [1;2;4;5].

Формирование величин самих вкладов, описано в [4], в статье же приведем несколько ключевых схем, на основании которых производится оценка таких факторов, как факторы материально-технического

снабжения и человеческий фактор — наиболее трудно оцениваемые величины. Анализ риска производится на заданных временных интервалах: месяц, квартал, полугодие, год.

Для риска схода в поездах, по причине инфраструктурной составляющей (за исключением разделов, где используются экспертные оценки), необходимо вычисление суммы произведений:

$$R = \sum_{i=1}^4 \lambda_i p_i w, \quad (1)$$

где λ_i — прогнозная интенсивность проявления факторов риска по технической составляющей;

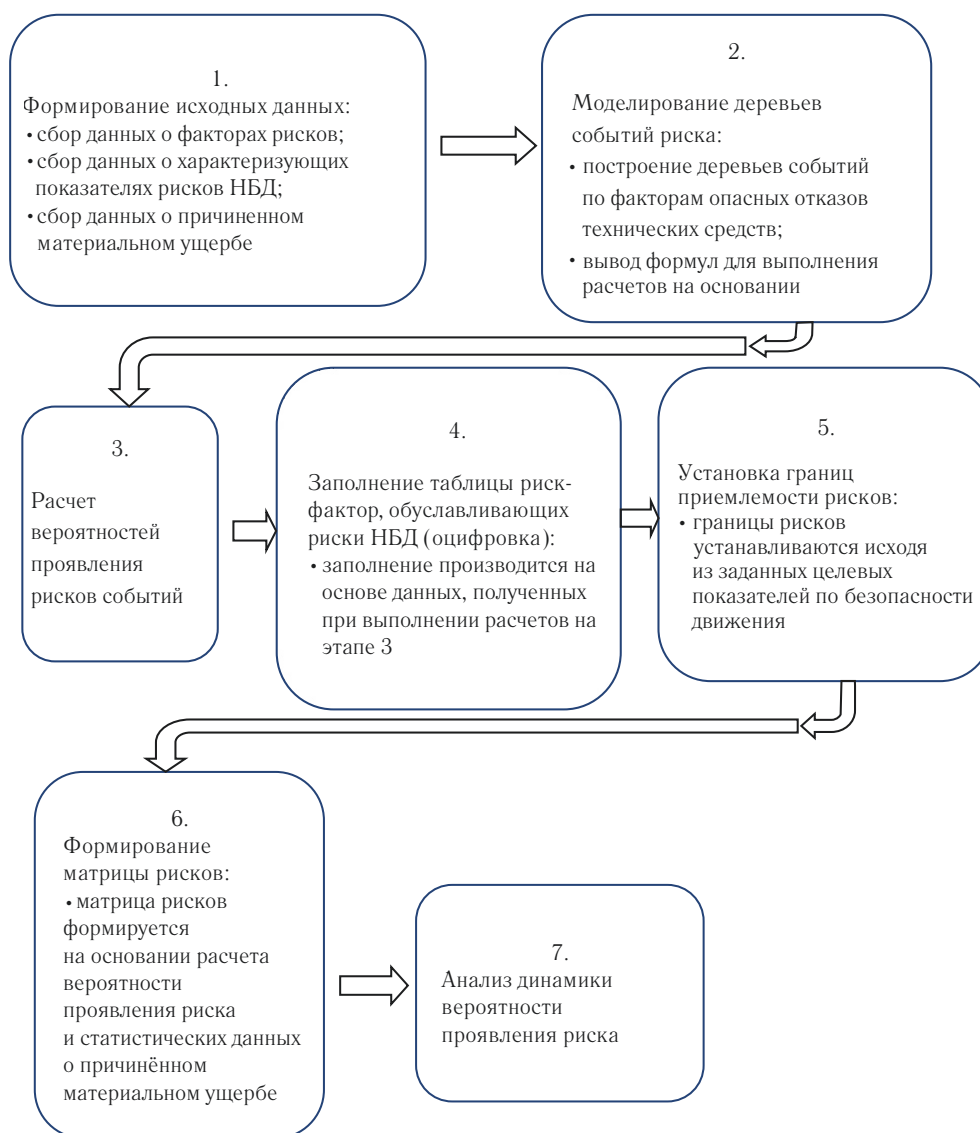


Рис. 2. Этапы оценки рисков в области функциональной безопасности движения на инфраструктуре ОАО «РЖД» для управления пути и сооружений

p_i — вероятность возникновения НБД на 1 случай проявления фактора риска по технической составляющей:

- отклонения геометрии рельсовой колеи;
- дефектность рельс;
- дефектность стрелочных переводов;
- нарушения норм содержания бесстыкового пути;

ω — средний ущерб от схода в поезде по статистическим данным.

Укрупненная схема расчетов компонентов рисков по технической составляющей представлена на рис. 3 [5].

На рис. 4 приведена схема расчётов вкладов факторов риска при ремонте, а также человеческого фактора.

Схема, на основании которой производится масштабирование, приведена на рис. 5, при оценке риска для НБД по фактору неисправностей геометрии рельсовой колеи (ГРК) 3,4 степени.

На рис. 5 δ_1 , δ_2 , δ_3 доли в количественной оценке фактора риска,

$$\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 = 1. \quad (2)$$

Рассмотрим далее подробнее критерии выбора риск-факторов, нуждающихся в корректировке.

Оценка вкладов производится при условии формирования функции безопасности и риска, например на основе схем, полученных в свою очередь на основе деревьев событий — отказов.

Пусть функция риска (вероятность НБД) определена полиномом:

$$\Phi R(x_i) = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (3)$$

где x_i — переменные, характеризующие состояние факторов, со значениями в отрезке $[0, 1]$;

i, n — натуральные индексы.

Источник [6] определяет вклады переменной — x_i по формуле:

$$B(x_i) = \Phi R(x_i = x_i^0) - \Phi R(x_i = 1) \quad (4)$$

при конкретных значениях всех прочих переменных, отражающих состояние факторов, влияющих на безопасность и риск:

$$x_i = x_i^0, \text{ где } i = 1 \div n.$$

Там же нормированные вклады переменной — x_i определяются по формуле:

$$B^n(x_i) = B(x_i) / \sum_{i=1}^n B(x_i). \quad (5)$$

Несмотря на нелинейность, зависимости функции риска, вклады должны быть определены таким образом чтобы вероятность опасного события (НБД) состояла из суммы вкладов переменных $x_1, x_2, \dots, x_n$:

$$\Phi R(x_i) = \sum_{i=1}^n B(x_i). \quad (6)$$

Очевидно, что расчет вкладов по формулам (4) или (5) поставленной задачи не решает, однако, если

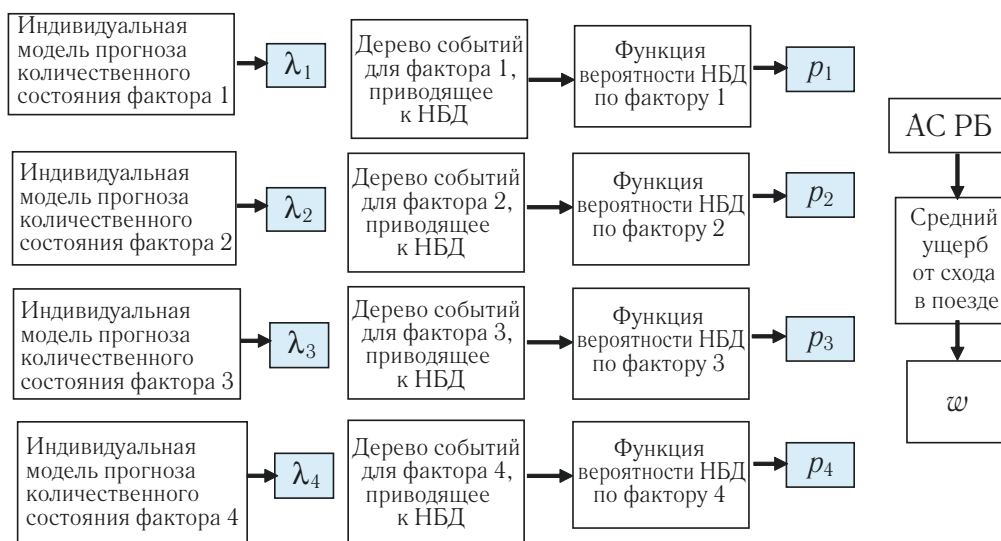


Рис. 3. Схема расчетов компонентов рисков по технической составляющей



Рис. 4. Общая схема факторного анализа рисков при ремонте

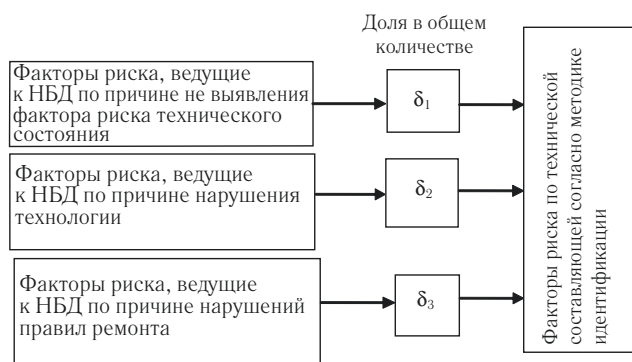


Рис. 5. Схема, используемая при получения условий масштабирования значений аргументов функции вероятности

после нормирования вкладов по формуле (5) произвести умножение на вероятность НБД формула (3), требуемое условие выполняется. Таким образом, при решении практических задач, необходимо использование формулы (7):

$$B(x_i) = \Phi R(x_i) \cdot B(x_i) / \sum_{i=1}^n B(x_i) . \quad (7)$$



Литература

1. Федеральный закон от 09.02.2007 № 16-ФЗ «О транспортной безопасности» (с изменениями 2 декабря 2019 года).
2. Вережкина, О.И. О системе оценки рисков в области функциональной безопасности движения поездов / О.И. Вережкина // Мир транспорта. — 2017. — Т.15, №6 (73). — С. 206–221.
3. Вережкина, О.И. О гибридном методе прогнозирования рисков на железнодорожном транспорте на основании общего логико-вероятностного метода / О.И. Вережкина // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2017. — Т.14, №4. — С. 615–627.
4. Методика идентификации рисков в области функциональной безопасности движения поездов на инфраструктуре ООО «РЖД» для управления пути и сооружений. (Распоряжение ОАО «РЖД» от 01.12.2016г. №4246р.). — М., 2016.
5. Методика оценки рисков в области функциональной безопасности движения на инфраструктуре ОАО «РЖД». — М.: ОАО «РЖД», 2016. — 72 с.
6. Вережкина, О.И. Применение гибридного метода оценки функциональных рисков нарушения безопасности движения в хозяйстве пути на железнодорожном транспорте / О.И. Вережкина // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. — 2019. — №1(61). — С. 55–64.
7. Рябинин, И.А. Логико-вероятностные методы исследования структурно-сложных систем / И.А. Рябинин, Г.Н. Черкесов. — М.: Радио и связь, 1981. — 264 с.
8. Verevkin O.I. Assessment of contribution of human factor and factors of material-technical supply to safety risks due to poor repair and technology // International Conference on Transport and Infrastructure of the Siberian Region (SibTrans-2019) IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 760 (2020) 012-065 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/760/1/012065.
9. Веприяк, И.А. Анализ взаимосвязи количеств отклонений геометрии рельсовой колеи от норматива второй и третьей, четвертой степени / И.А. Веприяк, О.И. Вережкина, Г.Д. Седельников // Наука и техника транспорта. — 2019. — №3. — С. 8–13.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СТАНЦИИ СТЫКОВАНИЯ



Д.И. Бодриков



А.А. Воробьев

Разработана имитационная модель эксплуатации электровозов на участке со сменой рода тока, позволяющая оценивать и оптимизировать работу станции стыкования при изменении интенсивности движения поездов.

Ключевые слова: станция стыкования, имитационное моделирование, электровоз, суммарные удельные потери, локомотивный парк

В процессе эксплуатации подвижного состава с целью повышения эффективности работы в настоящее время решаются различные актуальные задачи: определение рациональных участков обращения локомотивов и работы локомотивных бригад, оптимального числа локомотивов эксплуатируемого парка, оптимизация системы ремонта, оценка влияния различных факторов на систему эксплуатации и многие другие.

Решение поставленных задач аналитическим или численным методом не дает возможности с высокой степенью достоверности описать и рассчитать раз-

личные отдельные элементы системы, а также их взаимодействие друг с другом. Наиболее эффективным в этом случае является имитационное моделирование, которое дает возможность проводить эксперименты с моделями объектов, учитывать случайный характер процессов [1].

С точки зрения особенности организации системы эксплуатации локомотивов представляет интерес исследование процесса функционирования станций стыкования, на которых осуществляется смена локомотивов и локомотивных бригад из-за смены рода тока. Именно на них образуются непроизводительные потери

Бодриков Денис Игоревич, ассистент кафедры «Электropоезда и локомотивы» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (ИТТСУ РУТ (МИИТ)), начальник отдела Проектно-конструкторского бюро локомотивного хозяйства – филиала ОАО «РЖД». Область научных интересов: имитационное моделирование, оптимизация работы станции стыкования, организация системы эксплуатации и ремонта. Автор десяти научных работ.

Воробьев Александр Алексеевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Электropоезда и локомотивы» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (ИТТСУ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: надежность и совершенствование системы ремонта и эксплуатации тягового подвижного состава. Автор более 190 научных работ, в том числе одной монографии, двух учебников и более десяти учебных пособий.

Смирнов Валентин Петрович, доктор технических наук, профессор кафедры «Тяговый подвижной состав» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: повышение надежности локомотивов. Автор 149 научных работ. Имеет три патента на изобретения.

Фадеекин Тимофей Николаевич, кандидат технических наук, ведущий конструктор Проектно-конструкторского бюро локомотивного хозяйства – филиала ОАО «РЖД». Область научных интересов: повышение энергоэффективности тяговых электроприводов с асинхронными тяговыми двигателями. Автор десяти научных работ. Имеет два патента на изобретения.

в бюджете: увеличение времени простоя локомотивов и поездов, а также неэффективное использование рабочего времени локомотивных бригад.

С целью оптимизации работы станции стыкования была создана имитационная модель в среде AnyLogic. При условии, что нечетные поезда прибывают со стороны участка с питанием на постоянном токе, а четные поезда — со стороны переменного тока. Алгоритм определения количества простаивавших поездов и локомотивов после прибытия нечетного поезда с электровозом постоянного тока и четного поезда с электровозом переменного тока представлен на рис. 1. Одним из примеров станции стыкования родов тока является ст. Вязьма Московской железной дороги.

Общий вид имитационной модели процесса функционирования станции стыкования представлен на рис. 2.

В модели присутствуют переменные, которые позволяют отслеживать общее количество локомотивов постоянного и переменного тока (DC_Loc , AC_Loc), количество простаивающих четных и нечетных поездов ($Even_kol$, Odd_kol), а также дополнительные промежуточные переменные, позволяющие накапливать время простоя поездов и локомотивов на основании которых затем рассчитывается среднее время простоя поездов и локомотивов.

В качестве целевой функции для решения поставленной задачи целесообразно использовать удельные суммарные потери от простоя поездов и локомотивов. При этом необходимо эти потери разделить на четыре составляющих: от простоя четных поездов, от простоя нечетных поездов, от простоя локомотивов постоянного тока и от простоя локомотивов переменного тока.

Общие потери определяются на основании среднего времени простоя поездов и локомотивов и расходных ставок (1).

$$\Sigma Q = T_{\text{срл}} \cdot C_{\text{л}} + T_{\text{срп}} \cdot C_{\text{п}}, \quad (1)$$

где $C_{\text{л}}$, $C_{\text{п}}$ — расходная ставка для локомотивов и поездов, соответственно, руб./ч;

$T_{\text{срл}}$, $T_{\text{срп}}$ — среднее время простоя локомотивов и поездов, соответственно, ч.

Тогда удельные суммарные потери от простоя поездов и локомотивов определяются по формуле (2).

$$\Sigma q = \frac{\Sigma Q}{T_{\text{мод}}}, \quad (2)$$

где $T_{\text{мод}}$ — период моделирования, ч.

В ходе эксперимента выполнялась вариация размеров локомотивного парка постоянного и переменного тока, а также вариация в размерах межпоездных интервалов. Период моделирования был принят равным 8760 минут, что составляет один год.

Для того, чтобы проанализировать функционирование модели, необходимо ввести следующие обозначения:

$\Delta N = N^{DC} - N^{AC}$ — разница между количеством локомотивов постоянного тока и количеством локомотивов переменного тока, находящимися в депо;

$\Delta \tau = \tau^{Odd} - \tau^{Even}$ — разница между межпоездными интервалами.

Очевидно, что простой нечетных поездов будет определяться прибытием четных поездов, при отсутствии в депо локомотивов переменного тока, и наоборот, простой четных поездов будет определяться прибытием нечетных поездов, при отсутствии в депо локомотивов постоянного тока.

В этой связи в целевой функции Σq в зависимости от изменения параметров ΔN или $\Delta \tau$ два слагаемых из четырех будут всегда нулевыми, а другие два — ненулевыми, что определяется большей интенсивностью поступления поездов с той или иной стороны.

В результате расчетов в среде AnyLogic получена зависимость, определяющая изменение суммарных удельных потерь от простоя поездов и локомотивов от разницы в размерах движения с четной и нечетной стороны и эксплуатируемым парком локомотивов постоянного и переменного тока (рис. 3). Результаты расчетов приведены в таблице.

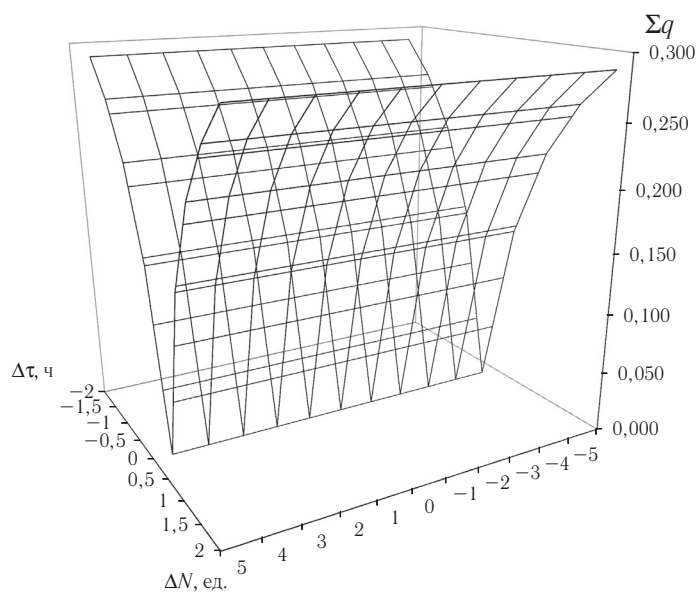
Исходя из полученных результатов можно сделать вывод о том, что наименьшие потери от простоя поездов и локомотивов будут в том случае, если размер локомотивного парка электровозов постоянного и переменного тока, а также интенсивность движения четных и нечетных поездов, то есть межпоездные интервалы между четными и нечетными поездами будет одинаковыми. В противном случае будут возникать дополнительные потери от простоя поездов или локомотивов. При образовании избытка локомотивов постоянного тока будут простаивать нечетные поезда из-за того, что будет недостаточно локомотивов переменного тока. Для решения этой задачи (в случае неравномерности) необходимо регулировать размер локомотивного парка постоянного или переменного тока пересылкой локомотивов в основное депо приписки со станции стыкования.

Таким образом, созданная имитационная модель эксплуатации электровозов на участке со сменой рода тока позволяет оценивать не только реальную ситуацию на станции стыкования в части непроизводительного простоя локомотивов и поездов, но и оптимизировать работу станции при изменении интенсивности движения поездов, определив необходимое количество локомотивов постоянного и переменного тока. 





Рис. 3. Зависимость суммарных удельных потерь от простоя поездов и локомотивов



Таблица

Изменение суммарных удельных потерь от простоя поездов и локомотивов

$\Delta\tau$, ч	ΔN , ед.										
	–5	–4	–3	–2	–1	0	1	2	3	4	5
–2,0	0,289	0,289	0,289	0,289	0,289	0,289	0,289	0,289	0,289	0,289	0,289
–1,5	0,260	0,260	0,260	0,260	0,260	0,260	0,260	0,260	0,260	0,260	0,260
–1,0	0,217	0,217	0,217	0,217	0,217	0,217	0,217	0,217	0,217	0,217	0,217
–0,5	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145
1,0	0,217	0,217	0,217	0,217	0,217	0,217	0,217	0,217	0,217	0,217	0,217
1,5	0,260	0,260	0,260	0,260	0,260	0,260	0,260	0,260	0,260	0,260	0,260
2,0	0,289	0,289	0,289	0,289	0,289	0,289	0,289	0,289	0,289	0,289	0,289

Литература

1. Кораблев, Ю.А. Имитационное моделирование [Текст]: учебник / Ю.А. Кораблев. – М.: КНОРУС. – 2017. – 144 с.
2. Компьютерное моделирование: Пособие для курсового и дипломного проектирования. – СПб.: ВАС. – 2011. – 348 с.
3. Бодриков, Д.И. Оптимизация продолжительности простоя электропоезда на плановом ремонте с учетом стоимости жизненного цикла / Д.И. Бодриков, А.В. Скребков, А.А. Воробьев // Безопасность движения поездов// Труды восемнадцатой научно-практической конференции. – 2017. – С. V-10 – V-11.
4. Бодриков, Д.И. Имитационная модель эксплуатации электровозов на участке со сменой рода тока / Д.И. Бодриков, А.А. Бенецкая // Неделя науки// Труды Всероссийской научно-практической конференции. – 2018. – С. III-10.

МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ И ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗОК НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ



А.Д. Сиразетдинова



М.В. Фуфачева

Для улучшения перевозочного процесса и повышения производительности железнодорожного транспорта в статье рассматривается методология организации и управления перевозочным процессом. Она основана на трехуровневом подходе к управлению на железнодорожном транспорте, с учетом основных показателей работы железных дорог и снижения случайных факторов и человеческого влияния на безопасность движения.

Ключевые слова: пропускная способность, безопасность движения, пути общего пользования, пути необщего пользования

Анализируя данные на путях общего и необщего пользования по переработке поездо- и вагонопотоков в течение восьми лет, процессы изменения экономических условий, трансформации количества и функциональности участников перевозочного процесса, были выявлены необходимые и актуальные корректировки методологии управления и организации перевозочного процесса. Ранее установленные зависимости между участковой скоростью и протяженностью дорог, объемом поступления груза для перевозки и временем оборота, неравномерностью движения и типом операций, скоростью продвижения вагоно- и поездопотоков и информатизации процесса не нашли своего подтверждения [1].

Основную идею исследования можно сформулировать следующим образом: решение любого организационного и управленческого вопроса в перевозочном процессе на железнодорожном транспорте необходимо одновременно рассматривать по трем крите-

риям: уровень безопасности, стоимость переработки поездо- и вагонопотоков, скорость продвижения.

Для распределения управленческих решений по объектам оптимизации выделено три уровня:

- первый уровень — оперативное управление станцией или структурным подразделением;
- второй уровень — территориальные филиалы ОАО «РЖД» или УЖДТ путей необщего пользования (ПНП);
- третий уровень управления затрагивает в целом весь перевозочный процесс — вся сеть путей магистрального транспорта, грузоотправителей и грузополучателей, либо управление промышленным транспортом.

Для первого уровня разработаны следующие методики:

1. Методика определения мотивационной составляющей трудовой деятельности работников станции или структурного подразделения.

Сиразетдинова Альфия Данисовна, кандидат технических наук, старший преподаватель автономной некоммерческой организации дополнительного профессионального образования «Корпоративный центр подготовки кадров «Персонал» (АНО ДПО «КЦПК «Персонал»). Область научных интересов: организация и управление процессами перевозок. Автор 65 научных работ, в том числе четырех монографий и 15 учебных изданий.

Фуфачева Марина Валерьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация железных дорог» Красноярского института железнодорожного транспорта — филиала Иркутского государственного университета путей сообщения (КриЖТ ИрГУПС). Область научных интересов: организация и управление процессами перевозок. Автор 53 научных работ, в том числе одной монографии и 23 учебных изданий.

2. Методика расчета переменной части оплаты труда.

3. Методика мероприятий продления периода без-опасной работы оперативного персонала [2;3].

4. Методика аналитического расчета объемов маневровой работы [4].

Результатом применения методик на первом уровне управления является: повышение производительности труда участников перевозочного процесса; повышение мотивации персонала при выполнении должностных обязанностей; повышение безопасности движения; повышение производительности маневровых локомотивов.

Более подробно рассмотрим методики, используемые на втором и третьем уровнях управления.

К методикам второго уровня управления относятся:

1. *Формирование системы поддержки принятия решений с учетом изменения итоговых экономических показателей по результату оперативного решения.* Актуальность методики основана на анализе статистических данных в течение восьми лет о переработке вагонопотоков. Исторически так сложилось, что затраты на переработку определяются в конце расчетного периода. Диспетчерский аппарат, в силу сменного характера работы, принимает оперативные решения с максимальным периодом планирования двое суток, при этом стоимость этих решений, с учетом частоты их принятия, сопоставима с капитальными затратами на строительство новых объектов инфраструктуры, эффективность использования которых, в свою очередь, определяется на перспективу минимум десять лет.

Оценка управленческих решений, с учетом эксплуатационных затрат периода всех структурных подразделений территориального филиала или УЖДТ, в результате работы по принятому решению с учетом критериев скорости продвижения вагонопотоков, уровня безопасности, стоимости переработки вагонопотоков в случае минимизации, приведет к значительному снижению затрат на переработку вагонопотоков.

2. *Методика формирования маршрутов движения вагоно- и поездопотоков на основе оперативной загруженности станций* [5]. Актуальность методики основана на обнаружении в движениях вагоно- и поездопотоков на путях необщего пользования нерациональных петель. Основой методики является решение статической транспортной задачи в условиях бесконечной смены начальных условий, базирующихся на 37 факторах, объединенных с помощью нечеткой логики и метода анализа иерархий в интегральную оценку загруженности стан-

ций, по которой осуществляется расчет маршрутов. Результатом методики является план следования вагоно- и поездопотоков на полигоне управления, сокращение времени оборота вагонов, сокращение влияния человеческого фактора на оптимальность следования поездопотоков.

3. *Методика классификации объектов транспортной инфраструктуры по эффективности использования (оценка вагонов и локомотивов).* Актуальность методики основана на старении парка вагонов и локомотивов, статистике плановых и внеплановых ремонтов. Использован метод профессора Андреевой Л.И. [6;7] для разложения объектов транспортной инфраструктуры по критерию соотношения произведенной работы и затрат по восстановлению технической годности на 4 зоны «высокие затраты — низкая эффективность», «высокие затраты — высокая эффективность», «низкие затраты — низкая эффективность», «низкие затраты — высокая эффективность». Статистика определяется ретроспективно на период минимум три года, перспективно на период планирования пять лет и позволяет взвешенно принимать решения по исключению объектов из рабочего парка и рационально распределять объекты по участкам работы (рис. 1).

Методика дополнилась комплексным показателем оценки использования побригадно и в течение расчетного периода поездных локомотивов, позволяющим сравнивать локомотивы разных энергетических установок, серий и участков работы [8].

Для получения удельных значений показателей произведенной работы локомотивом необходимо произвести вычисления: определяется фонд рабочего времени (ФРВ) локомотива по формуле:

$$\text{ФРВ} = N_{\text{см}} t, \quad (1)$$

где $N_{\text{см}}$ — количество рабочих смен локомотива, ед.

t — продолжительность смены, час. Принимается равной 12 часов.

Производительность локомотива в вагонах в 1 час рабочего времени локомотива определяется по формуле:

$$n = \frac{N}{\text{ФРВ}}, \quad (2)$$

где N — производительность локомотива, ваг.

Производительность локомотива в 1 час рабочего времени локомотива определяется по формуле:

$$q = \frac{Q}{\text{ФРВ}}, \quad (3)$$

где Q — производительность локомотива, т.

Величина пробега в 1 час рабочего времени определится по формуле:

$$l = \frac{L}{\text{ФРВ}}, \quad (4)$$

где L — общий пробег локомотива, км.

С помощью вспомогательной таблицы осуществляется расчет комплексного показателя, который определяется на основании сравнения значений каждого локомотива со средним значением по всему парку и складывается построчно. Если представить каждое значение исходной таблицы как a_{ni} , где n — номер локомотива, i — номер столбца, средние значения по всему парку локомотивов обозначить как a_{cpi} , то значения вспомогательной таблицы можно представить как b_{ni} , определяющееся по формуле:

$$b_{ni} = a_{cpi} - a_{ni}. \quad (5)$$

Значение комплексного показателя K определится по формуле:

$$K = \sum_{i=1}^3 b_{ni}. \quad (6)$$

Данный показатель не имеет размерности и носит оценочный характер для производства сравнений различных локомотивов.

Таким образом, результатом применения методик на втором уровне управления является: определение наиболее эффективного оборудования; снижение затраты на обеспечение и поддержание в технически исправном состоянии объектов транспортной инфраструктуры; снижение времени нетехнологических простоев объектов транспортной инфраструктуры в ожидании ремонта; повышение точности оценки объектов транспортной инфраструктуры.

Третий уровень управления — управление перевозочным процессом в целом, либо в рамках управления промышленным предприятием, который в свою очередь включает в себя три методики:

1. *Методика выбора собственника подвижного состава* [9]. Актуальность данной методики основана на статистическом анализе разницы времени нахождения вагонов различных собственников подвижного состава (СПС) в пунктах погрузки-выгрузки. При наличии на полигоне управления различных собственников выбор осуществляется бессистемно и зачастую

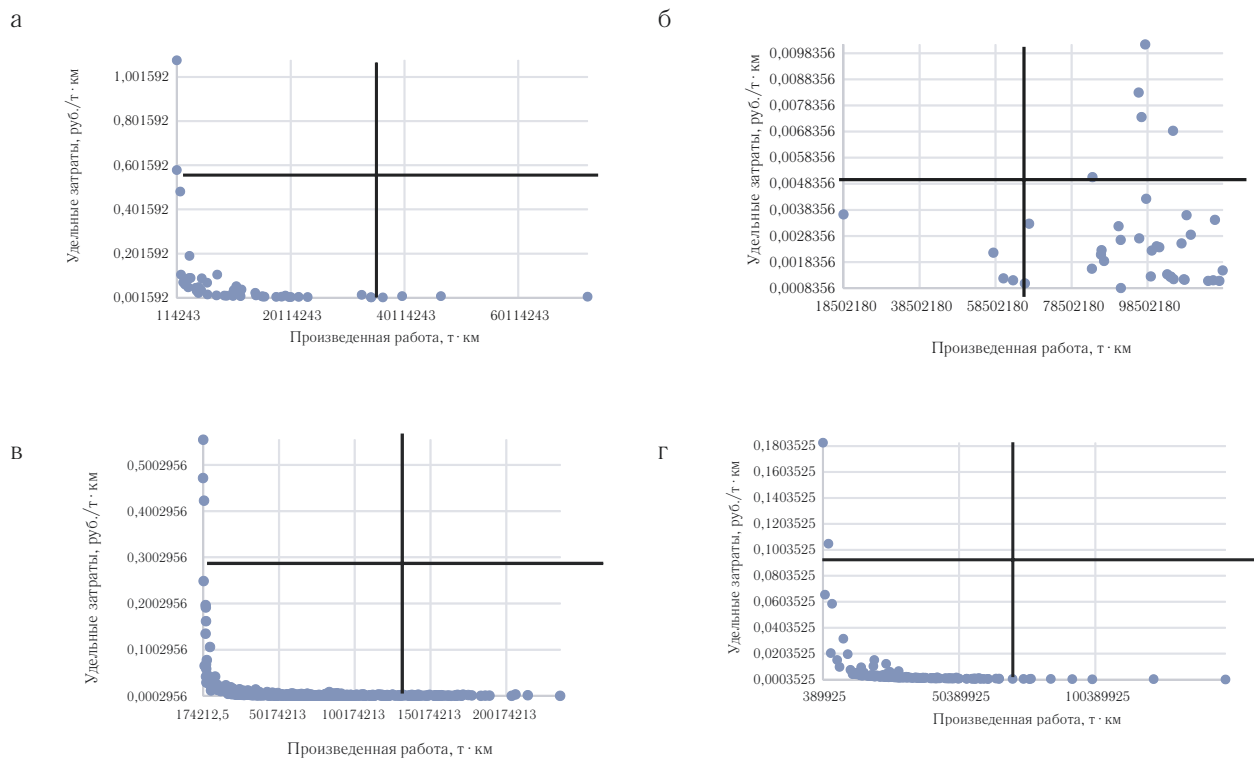


Рис. 1. Определение эффективности вложения денежных средств в вагоны собственности ПНП с правом выхода:
а — эффективность работы цистерн; б — эффективность работы платформ; в — эффективность работы полувагонов;
г — эффективность работы полувагонов с крышей

определяется структурами, не относящимися к УЖДТ — отделами снабжения, сбыта, договорными отделами без обратной связи об эффективности работы. Алгоритм выбора собственника вагонов при формировании каждого конкретного состава происходит в три этапа. На первом — сбор исходных данных и определение значений функций принадлежностей; на втором этапе происходит формирование списка доступных СПС и расчет укрупненных показателей; на третьем этапе осуществляется определение оптимального формирования состава поезда вагонами различных СПС, маршрутов формирования и дальнейшего движения состава.

Результаты методики: сокращаются затраты на маневровые операции на сортировку вагонов по собственникам подвижного состава; сокращается время оборота вагонов; на основе нечетких данных появляется четкий критерий оценки пригодности конкретного собственника подвижного состава под заданную перевозку; снижается влияние человеческого фактора на выбор собственника подвижного состава.

2. *Методика единых сетевых временных признаков на вагоны.* Актуальность данной методики определилась статистическими данными по неоднократным заходам одних и тех же вагонов под грузовые операции. Это обусловлено субъективностью коммерческой годности вагонов и недостаточностью информации о техническом состоянии вагонов при проведении технического осмотра. При существующей схеме осмотра, согласно ЦВ-ЦЛ-408 (Инструкция по техническому обслуживанию вагонов в эксплуатации (Инструкция осмотрищику вагонов)), и внесении данных в АСУ дистанционно определить годность вагона под перевозку груза не представляется возможным. В результате возникают нетехнологические простои грузовых фронтов, излишние порожние пробеги вагонов и, как следствие, снижение пропускной способности транспортной инфраструктуры. Так же в результате опроса работников вагонного хозяйства на 8 территориальных филиалах ОАО «РЖД» определилось отсутствие единых сетевых разметок по территории РФ. Предлагается вносить в данные АСУ следующие временные признаки на вагоны, часть которых может сниматься после проведения ремонтов и применять разметку, универсальную для всей территории России:

- РД — Россия длинномер — возможна погрузка грузов по территории России тарно-штучных и длинномерных грузов. Под данной разметкой подразумевается, что в полу или кузове вагона имеются пробоины, исключающие возможность погрузки сыпучих грузов без дополнительных мероприятий;

- РС — Россия сыпучие — возможна погрузка сыпучих грузов по территории России. Данная разметка не исключает возможности тарно-штучных и длинномерных грузов;

- по аналогии с вышеуказанным разделением предлагается разметка СНГС, ДВС — возможна погрузка сыпучих грузов по территории стран СНГ и направлением на Дальний Восток, СНГД, ДВД — возможна погрузка грузов по территории стран СНГ и направлением на Дальний Восток тарно-штучных и длинномерных грузов;

- КитайЗаб — для погрузки грузов с последующим отправлением на железнодорожный пограничный перевалочный переход Забайкальск—Маньчжурия и КитайГор — для погрузки грузов с последующим отправлением на железнодорожный пограничный перевалочный переход Гродеково-Суйфэньхэ с подразделением на сыпучие и тарно-штучные грузы.

Таким образом, уточняется понятие технически исправного вагона.

Результаты методики: сокращаются затраты на маневровые операции по выкидке вагонов, имеющих коммерческие неисправности; сокращается время оборота вагонов; повышается точность распределения вагонов; повышается эффективность использования элементов транспортной инфраструктуры путей общего и необщего пользования.

3. *Методика координации различных параметров структурных подразделений предприятия под задачи сокращения затрат на переработку вагонопотоков.* Актуальность методики основана на соотношении затрат простоя грузовых фронтов с затратами на содержание транспортной инфраструктуры. В сложных экономических условиях снижение себестоимости продукции возможно за счет сокращения затрат на производство. Анализ дерева факторов на стоимость переработки вагонопотоков (рис. 2) показал, что на часть факторов, оказывающих влияние на скорость переработки вагонопотоков и стоимость, работники железнодорожного транспорта не в силах оказывать влияние. Следовательно, при принятии оперативных решений диспетчерским аппаратом предприятия, необходимо постоянно просчитывать стоимость решения не только для железнодорожного транспорта, но и для предприятия в целом. Единое диспетчерское управление процессами производства, погрузки-выгрузки и транспортировки обеспечивает резкое снижение себестоимости продукции. Однако на пути реализации этого процесса есть ряд ограничений — необходимо системное понимание у руководства важности перевозочного процесса в цепочке производства, готовности к значительному объему расчетов и определению экономической целесообразности

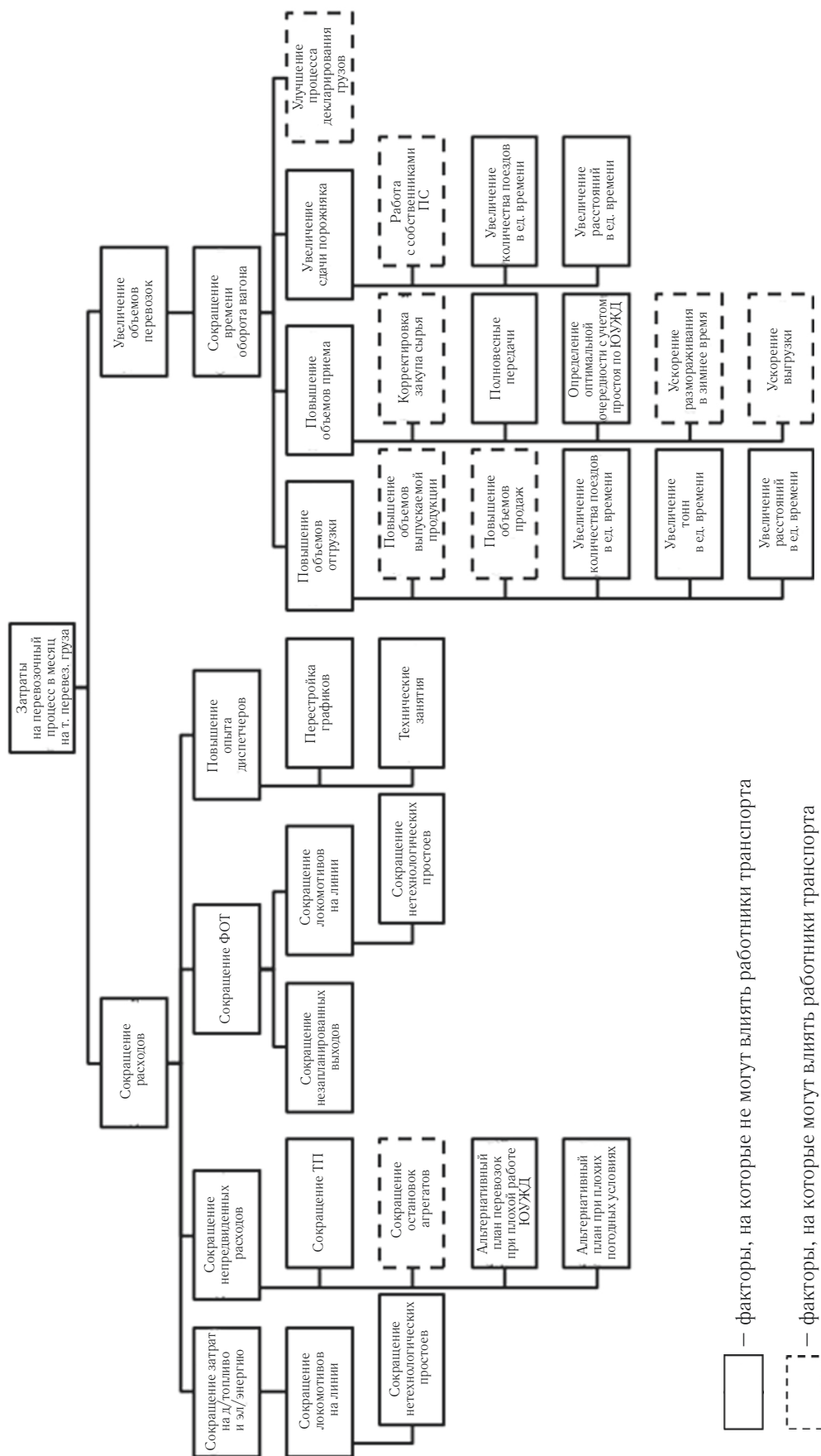


Рис. 2. Дерево факторов, влияющих на стоимость переработки вагонопотоков на предприятии

изменения производственных и транспортных процессов в каждом пункте погрузки-выгрузки грузов [10].

Основные результаты применения методик на третьем уровне управления: снижение затрат на переработку вагоно- и поездопотоков; повышение пропускной способности транспортной сети пути необщего пользования; повышение безопасности движения; сокращение объемов маневровой работы и затрат фонда рабочего времени грузовых фронтов; повышение надежности транспортного обслуживания.

Применение методик рассмотрено на примере промышленного транспорта, так как в целом на всем железнодорожном транспорте нет единой финансовой организации, к которой можно отнести сокращение затрат. В результате применения всего комплекса методик по совершенствованию перевозочного процесса множество возможных управленческих решений на втором и третьем уровнях управления примут следующий вид

$$E_2 : \left\{ e_i^2 \mid \bar{e}_i^2 = (e_{i1}^2, e_{i2}^2, e_{i3}^2); e_{ik}^2 - Random; e_{ik}^2 \in \{-n; n\}; e_{i1}^2 \in S; e_{i2}^2 \in V; e_{i3}^2 \in B \right\}, \quad (7)$$

$$E_3 : \left\{ e_i^3 \mid \bar{e}_i^3 = (e_{i1}^3, e_{i2}^3, e_{i3}^3); e_{ik}^3 - Random; e_{ik}^3 \in \{-n; n\}; e_{i1}^3 \in S; e_{i2}^3 \in V; e_{i3}^3 \in B \right\}, \quad (8)$$

где S_{opt} — оптимальная стоимость переработки вагонопотоков, руб.;

V_{opt} — оптимальная скорость продвижения вагонопотоков, км/сут.;

B_{opt} — оптимальные уровни безопасности, уровни;

i — количество объектов принятия решений на соответствующем уровне;

n_{opt} — возможные вариации решений уровня.

Аналогично описываются множества управленческих решений на первом уровне:

$$E_1 : \left\{ e_i^1 \mid \bar{e}_i^1 = (e_{i1}^1, e_{i2}^1, e_{i3}^1); e_{ik}^1 - Random; e_{ik}^1 \in \{-n; n\}; e_{i1}^1 \in S; e_{i2}^1 \in V; e_{i3}^1 \in B \right\}, \quad (9)$$

Таким образом, изложены новые и обоснованные с научной точки зрения технические, технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие железнодорожного транспорта в части определения и управления качественными и количественными факторами, оказывающими влияние на организацию и управление перевозочным процессом.



Литература

1. Красавин, А.В. Транспортные происшествия на железных дорогах. / А.В. Красавин, А.С. Новиков, А.А. Антонов // Сб. материалов III Междунар. науч.- практ. конф. «Наука и современность», том 2. — Новосибирск : НГТУ, 2010. — С. 353–355.
2. Сиразетдинова, А.Д. Анализ безопасности движения на путях общего и необщего пользования / А.Д. Сиразетдинова, А.А. Антонов // Сб. трудов IV Межрег. науч.- практ. конф. «Дорожно-транспортный комплекс: состояние, проблемы и перспективы развития». —Чебоксары : «Волжский филиал МАДИ», 2011. —С. 57–59.
3. Лешер, О.В. Роль лидерства руководителя в управлении трудовых ресурсов [Электронный ресурс] / О.В. Лешер, А.Д. Сиразетдинова, А.В. Тютюльникова, М.В. Фуфачева. —Режим доступа: <http://www.scientificreview.ru/article/view?id=23> (дата обращения 15.10.2019).
4. Сайт компании ООО «АВП Технология» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://old.avpt.ru/> (дата обращения: 28.01.2020).
5. Сиразетдинова, А.Д. Методика управления вагонопотоками на путях необщего пользования, учитывающая оперативную загруженность станций (монография) / А.Д. Сиразетдинова. —Магнитогорск: Магнитогорский дом печати, 2012. —108 с.
6. Андреева, Л.И. Методология формирования технического сервиса горно-транспортного оборудования на угледобывающем предприятии : дис. ... д-ра техн. наук / Л.И. Андреева. — Екатеринбург, 2004. —305 с.
7. Андреева, Л.И. К вопросу об управлении риском эксплуатации оборудования промышленного предприятия / Л.И. Андреева, Т.И. Красникова // Рудник будущего. —2010. — №2. —С. 81–86.

8. Красникова, Т.И. К вопросу формирования информационных потоков в системе управления ремонтным производством / Т.И. Красникова // Горное оборудование и электромеханика. — 2009. — №4. — С. 37–41.
9. Сиразетдинова, А. Д. Методика выбора собственника подвижного состава для эффективной работы с вагонопотоками путей необщего пользования / А. Д. Сиразетдинова, М. В. Фуфачева // Научно-технический вестник Поволжья. — 2012. — №6. — С. 413–416.
10. Сиразетдинова, А.Д. Мероприятия по сокращению затрат времени учета вагонов в пунктах погрузки / А.Д. Сиразетдинова, М.В. Фуфачева, В.А. Романченко // Сб. статей Междунар. науч.-техн. конф. «Новые задачи технических наук и пути их решения». — Уфа: Научный центр «Азтерна». — 2014. — С. 55–58.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ ПО КРИТЕРИЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕГО УСТОЙЧИВОСТИ

Рассматриваются различные методы оценки устойчивости бесстыкового пути и предлагается дополнить эти методы математическим аппаратом волновой теории.

Ключевые слова: верхнее строение пути, температурные напряжения, динамическое воздействие, дефекты пути, краевые условия



А.А. Локтев



А.В. Сычева

Почти 80% протяженности железных дорог России бесстыковой путь. Одним из существенных недостатков бесстыкового пути является самопроизвольная разрядка напряжения в рельсах, вызванная изменением температуры после их закрепления и вызывающая искривление рельсовой нити в горизонтальной плоскости, так называемый «выброс» пути. Рельсы длиной 100 метров свариваются в рельсовые плети при температуре рельса $+20^{\circ}\text{C}$. Климатические изменения местности, в которой уложен железнодорожный путь вызывают изменение температуры в рельсах и как следствие, напряжения. Например, изменение температуры рельса на 1°C приводит к изменению напряжения в рельсе на 2,5 МПа. Поэтому нормативными документами устанавливаются перепады температур Δt_p и Δt_c при которых достигаются не приводящие к браку напряжения растяжения и сжатия. Выход температуры за пределы

интервала, могут привести к выбросу пути, и, если выброс произойдет под движущим поездом возможно крушение, а во время нахождения на пути бригады рабочих к человеческим жертвам. Также на устойчивость рельсовых плетей влияет действие дополнительных продольных сил, например, возникающих при торможении подвижного состава, появлении и взаимодействии стационарных и нестационарных процессов в элементах верхнего строения пути.

Таким образом, задача моделирования устойчивости железнодорожного пути является актуальной в части обеспечения безопасности движения поездов на основе безопасной работы на железнодорожном пути и обеспечения соблюдения требований охраны труда при производстве путевых работ.

Известны различные способы на практике предотвратить появление выбросов пути. Одним из способов избежать этого, уложить так называемые уравниль-

Локтев Алексей Алексеевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Транспортное строительство» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: механика деформированного тела, моделирование объектов транспортной инфраструктуры, железнодорожный путь, реконструкция объектов исторического и архитектурного наследия. Автор 185 научных работ, в том числе трех монографий.

Сычева Анна Вячеславовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Здания и сооружения на транспорте» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: инженерное обеспечение строительства, инженерная геология. Автор 45 научных работ.

Сычев Вячеслав Петрович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Транспортное строительство» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: создание новых технологий и технических средств для повышения эффективности технического обслуживания железнодорожного пути. Автор более 100 научных работ. Имеет 20 патентов на изобретения.

ные рельсы (пролеты). Длина уравнильного пролета рельса l_0 при оптимальной температуре закрепления зависит от n количества пар уравнильных рельсов и зазора в стыке λ , и определяется как [1]:

$$l_0 = n1250 + (n+1)\lambda. \quad (1)$$

Анализ предшествующих работ по оценке устойчивости железнодорожного пути показал, что существует много подходов к оценке устойчивости железнодорожного пути [2–4]. Общая постановка задачи заключается в том, что на закрепленный при температуре t_0 на шпалах рельс длиной $2l$, действуют продольные силы P и поворота F , возникающие от изменения температуры в рельсах. Участок пути, на котором укладывается рельс, состоит из прямых участков длиной L ; изогнутой части плети ℓ_1 с соответствующей хордой и стрелой изгиба. Под воздействием изменения температуры Δt в зависимости коэффициента линейного расширения рельсовой стали α , рельс удлиняется на величину $\Delta \ell$. Принимается допущение: силы сопротивления продольным перемещениям и деформациям поворота рельсов распределены равномерно по длине деформируемого участка пути. Свободному удлинению рельса препятствуют: силы трения в стыковых накладках P_n ; силы сопротивления на опорах p , на концевых, подвижных участках l_i ; начальное q_0 и погонное r сопротивления сдвигу шпалы. Принимается следующее условие устойчивости железнодорожного пути: сила P_t , возникающая от нагрева рельса равна силам сопротивления сдвигу P_n . Однако в этом случае применение классической эйлеровской теории устойчивости объектов не дает адекватного решения задачи. Поэтому С. П. Першиным было предложено использование энергетического метода для оценки устойчивости железнодорожного пути [5–7] на принципе возможных перемещений при равенстве элементарных работ:

$$dA_K = dA_H + dA_B + dA_C, \quad (2)$$

где dA_K , dA_H , dA_B , dA_C — соответственно работа сжимающих сил в местах искривления; деформации изгиба рельсов; сопротивления балласта при сдвиге; сопротивления при повороте шпал в горизонтальной плоскости. Элементарные работы рассчитываются для удлинения $\lambda = (\ell_1 - \ell)$ при его деформации с учетом модуля упругости рельсовой стали E , площади поперечного сечения рельсов ω и момента инерции двух рельсов относительно вертикальной оси J_{PB} . Деформация рельсовой плети при воздействии на нее температуры определяется интегрированием элементарных работ, с подстановкой различных форм изгиба $y=f(x)$, вычисля-

емые двукратным интегрированием уравнения второй производной с учетом граничных условий:

$$x = \pm \ell/2, y=0, y'=0, y''=0; \\ \text{при } x=0, y=f, y'=0. \quad (3)$$

К положительным качествам энергетического метода можно отнести возможность оценки состояния бесстыкового пути на основе графического анализа, что удобно при практическом использовании. Недостатком метода можно считать зависимость результатов решения от того какое уравнение формы изгиба принимается при расчете и ее соответствию фактическому очертанию возможного искривления пути при деформации.

Профессор А.Я. Коган с учениками предложил [8] решить уравнение устойчивости бесстыкового пути без учета начальных неровностей с помощью системы трансцендентных нелинейных уравнений. Метод, в отличие от вышеописанных, позволяет получать форму изгиба пути расчетным путем. Однако недостатком этого метода является сложность расчетов, а также отсутствие возможности получения промежуточных результатов с целью корректировки, что вызывает трудности при адаптации к реальным условиям эксплуатации.

Модель устойчивости бесстыкового пути профессора М.Ф. Вериги [9] построена на учете кинетики развития деформаций потери устойчивости бесстыкового пути при решении дифференциального уравнения упругой оси балки. Для реализации этой модели получают экспериментальные нелинейные по отношению к перемещениям, значения сил и, моделируя разные ситуации с их изменением оценивают вероятность потери устойчивости. Модель построена на основе дифференциального уравнения динамического равновесия элемента бесстыкового пути длиной ds , при действии на него продольной температурной силы в виде следующего уравнения:

$$EI \frac{\partial^4 y}{\partial s^4} + Pt(s) \left[\frac{\partial^2 (y + \delta)}{\partial s^2} + \frac{1}{R} \right] + \\ + m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - \frac{\partial}{\partial t} \left(f_1 \left(\frac{\partial y}{\partial s} \right) \right) - f_2(y) \text{sign} \frac{dy}{dt} = 0. \quad (4)$$

где t — время; S — абсцисса точки на оси пути; $y=y(s,t)$ — горизонтальное поперечное перемещение оси пути в точке S в момент t ; $\delta=\delta(s)$ — начальная неровность пути в плане (рихтовка); R — радиус кривой; $Pt(s)$ — продольная сила, передаваемая на элемент пути; m — 0,5 от массы пути на единицу его длины; $f_1\left(\frac{\partial y}{\partial s}\right)$ — эмпирическая нелинейная функция зависимости момента

сил сопротивления повороту рельса в плане от значений этого угла поворота в каждой точке с абсциссой S ; $f_2(y)$ — эмпирическая нелинейная зависимость силы сопротивления поперечным перемещениям одиночной шпалы в балласте от величины y .

Модель позволяет учесть различные неровности в плане, неравномерность затяжки гаек клеммных болтов по длине пути и т.д., она может быть масштабирована на сегмент рельса произвольной длины, хотя ее реализация в виде алгоритма и приведет к появлению некоторых вычислительных сложностей, связанных с необходимостью учета многочисленных граничных условий в узлах скрепления.

Тем не менее, эта и вышеописанные модели, имеют определенные недостатки, которые влияют на реальную оценку устойчивости пути. Эти недостатки вызваны тем, что рельс представляет собой упругий объект, в котором по определенным законам распространяются волны.

Предлагается модель, учитывающая распространение с конечной скоростью упругих волн в рельсах. Задача ставится следующим образом. По упругому рельсу со скоростью V_0 движется как абсолютно твердого тела массой m в виде колесной пары подвижного состава. Колесо наезжает на торец стыка рельса с постоянной погонной массой $M=\rho A$.

Задачу, подобную этой, для стержней рассматривали Сен-Венан и Буссинеск [10;11]. Уравнение равновесия элемента dz имеет вид:

$$\frac{dN}{dz} = -q_z. \quad (5)$$

Если в (5) заменить $N=EA\left(\frac{d\omega}{dz}\right)$, получим

$$\frac{d}{dz}\left(EA\frac{d\omega}{dz}\right) = -q_z. \quad (6)$$

Как видно из (6) перемещения сечения ω вдоль оси z зависят от координаты z и времени t . Производная по z функции $\omega(z,t)$ есть частная производная $\frac{\partial}{\partial z}$.

Нагрузка на рельс q_z появляется от действия сил инерции, которые для единицы длины рельса вычисляются на основе принципа Даламбера:

$$q_z = -m \frac{\partial^2 \omega}{\partial t^2}. \quad (7)$$

Подставляя (7) в (6), получим уравнение движения при продольных колебаниях рельса, которое считая, что $EA=\text{const}$, будет:

$$G^2 \frac{d^2 \omega}{dz^2} = \frac{d^2 \omega}{dt^2}, \quad (8)$$

где

$$G = \sqrt{\frac{EA}{m}} = \sqrt{\frac{E}{\rho}}. \quad (9)$$

Решение волнового уравнения (8):

$$\omega = f_1(z - Gt), \quad (10)$$

где f_1 — функция, описывающая возмущение на первом свободном торце стыка. Тогда поступательное равномерное движение кривой f_1 со скоростью G может быть описано (10). Считаем, что и на втором торце стыка рельсовой плети также существует другое возмущение f_2 , от действия которого волна распространяется в обратном направлении с такой же скоростью, что может быть описано выражением:

$$\omega = f_1(z - Gt) + f_2(z + Gt). \quad (11)$$

Таким образом (11) определяет распространение возмущений в виде бегущих волн в положительном и отрицательном направлениях оси z , в частности, при $f_1=f_2$ второе слагаемое в (11) описывает волну, отраженную от второго торца стыка.

Скорость распространения продольных волн описывается выражением (9) и зависит от свойств материала рельса и колесной пары подвижного состава, взаимодействующего с рельсом. С момента начала контакта с рельсом колесная пара за малый промежуток времени dt проходит путь $\Delta s = Vdt$, создавая на свободном торце стыка деформацию сжатия ϵ . От торца эта деформация распространяется вдоль рельса со скоростью G и за время dt создаст сжатие на длине $s = Gdt$. Если предположить, что на бесконечно малом отрезке деформация ϵ распределена равномерно, то деформацию и напряжение на торце можно представить в виде:

$$\epsilon = \frac{\Delta s}{s} = \frac{Vdt}{Gdt} = \frac{V}{G}, \quad (12)$$

$$\sigma = \epsilon E = E \frac{V}{G}. \quad (13)$$

Известно, что для однородных материалов параметры G и E постоянны [12]. Тогда и для рельса одной поставки параметры G и E постоянны, и следовательно, контактные напряжения и деформации в рельсе будут зависеть только от начальной скорости набегания колеса на рельс V . Например, для стали при $E=210$ ГПа, $G=5200$ м/с и $V=5,2$ м/с напряжения на торце будут 210 МПа, что для малоуглеродистой стали соответствует пределу пропорциональности,

тем не менее при увеличении скорости колеса на рельсе могут появиться пластические деформации.

Скорость колеса при движении по рельсу определяется соотношением, которое с учетом (12) и (13) можно представить как:

$$\frac{d\omega}{dt} = V = G \frac{\sigma}{E} = G \frac{P}{EA}. \quad (14)$$

Дифференцируя (14) по t и, применяя второй закон Ньютона [13], получим:

$$\frac{d^2\omega}{dt^2} = \frac{G}{EA} \frac{dP}{dt} = -\frac{P}{M}, \quad (15)$$

где « $-$ » показывает, что контактная сила вызывает сопротивление движению колеса.

Тогда (15) в виде дифференциального уравнения может быть описано так:

$$\frac{dP}{dt} + \alpha P = 0, \quad (16)$$

где $\alpha = \frac{EA}{GM}$.

Решая (16), получим:

$$P(t=0) = \sigma_0 A = \frac{V_0}{G} EA, \quad (17)$$

Тогда напряжения и деформации на торце рельса могут определяться как:

$$P = \frac{V_0 EA}{G} e^{-\alpha t}, \quad (18)$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{P}{EA} = \frac{V_0}{G} e^{-\alpha t}. \quad (19)$$

Время прохождения волны от свободного конца рельса до произвольного сечения $z=0$ равно z/G . Заменим в (19) аргумент t на $(t-z/G)$, и получим закон распространения волны деформации от торца стыка от скорости G :

$$\varepsilon = \frac{V_0}{G} e^{-\alpha\left(t-\frac{z}{G}\right)} \text{ при } z \geq tG. \quad (20)$$

При отражении упругой волны на другом конце стыка рельса появляется деформация вдвое большая.

Другим очень, по мнению авторов, важным параметром, который необходимо учитывать для практического использования являются дефекты в стыках рельса, которые для дальнейших рассуждений будем считать смятием материала. Кроме распространения волн деформаций, следует учитывать факт дефекта рельсов в стыках, которую для дальнейших рассуждений будем называть местным смятием материала, что по сути соответствует физике дефектов в стыках

[14]. Учет распространения продольных и поперечных волновых поверхностей позволяет создать и реализовать вычислительную схему, позволяющую моделировать напряженно-деформированное состояние рельсовой плети с учетом большинства параметров состояния верхнего строения пути, характера приложения внешней динамической нагрузки, термоупругих процессов и выявить степень влияния тех или иных характеристик при различных скоростях движения транспортных средств.

Таким образом, динамическое взаимодействие колеса и рельса можно представить как решение двух задач: определение контакта в месте взаимодействия колеса и рельса и оценки деформирования материалов рельса и колеса (рис. 1). На рис.1 упругими элементами представлена модель деформирования области взаимодействия рельсошпальной решетки и балластной призмы. Как уже упоминалось выше, С.П. Тимошенко впервые рассмотрел подобную задачу, поставив и решив задачу о поперечном ударе упругого шара по упругой балке Бернулли-Эйлера в предположении, что волны на поверхности распространяются с бесконечной скоростью. Применяя результаты этих решений уравнения взаимодействия колеса и рельса можно представить как:

$$m\ddot{y} = -P(t), \quad (21)$$

$$EI \frac{\partial^4 \omega}{\partial x^4} + \rho F \ddot{\omega} = P(t) \delta(x-\xi), \quad (22)$$

где m — масса колеса; y — перемещение колеса; $\omega(x,t)$ — прогиб рельса; E — модуль Юнга; I — момент инерции сечения рельса относительно средней линии; F — площадь сечения рельса; ρ — его плотность; $\delta(x-\xi)$ — дельта функция Дирака; x — координата колеса, точка над величиной означает частную производную по времени.

Уравнения (21) и (22) интегрируем с учетом начальных условий:

$$\begin{aligned} y(0) &= 0, & \dot{y}(0) &= V_0, \\ \omega(x,0) &= 0, & \dot{\omega}(x,0) &= 0, \end{aligned} \quad (23)$$

где V_0 — скорость колеса в момент наезда (удара) на торец рельса.

Присоединим к уравнениям (21) и (22) соотношения:

$$y = \alpha + \omega(\xi, t), \quad (24)$$

$$\alpha = k' P^{2/3}, \quad (25)$$

или

$$P = k\alpha^{3/2}, \quad (26)$$

где α — местное смятие материалов колеса и рельса (стыковой дефект); k' и $k = (k')^{-3/2}$ — коэффициенты, зависящие от геометрии взаимодействующих тел и упругих характеристик их материалов. Интегрируя уравнения (21) и (22) с учетом начальных условий (23) и подставляя найденные функции $y(t)$ и $w(x, t)$, а также $\alpha(t)$ из соотношения (25) в выражение (24), получаем функциональное уравнение для определения контактной силы $P(t)$

$$V_0 t - \frac{1}{m} \int_0^t \int_0^{t_1} P(t_2) dt_2 dt_1 = k' P^{2/3} + \sum_n A_n \int_0^t P(\tau) \sin \omega_n (t - \tau) d\tau, \quad (27)$$

где коэффициенты A_n зависят от вида собственных функций и собственных значений ω_n задачи [15; 16].

Продифференцируем (27) дважды по времени и учитывая (26) получим:

$$\ddot{\alpha} + k \left(\frac{1}{m} + \sum_n \omega_n A_n \right) \alpha^{3/2} - k \int_0^t \alpha^{3/2}(\tau) \sum_n \omega_n^2 A_n \sin \omega_n (t - \tau) d\tau = 0. \quad (28)$$

С учетом дефекта в стыке (смятия материала) и зная модель распространения волн с конечными скоростями на фронте и за фронтом ударной волны до границы (рисунок) условие динамической совместности в стыках:

$$\sigma = -\rho_0 G_0 V, \quad (29)$$

где σ — напряжение; V — скорость частиц рельса вдоль его оси; ρ_0 — плотность материала рельса.

В месте контакта колеса и рельса условие (29) принимает вид

$$P = -\rho_0 G_0 F V. \quad (30)$$

Учитывая выражение (30) и проинтегрированное дважды уравнение вертикального движения колеса (21), из соотношения (24), которое в этом случае примет вид:

$$y = \alpha + \int_0^t V dt. \quad (31)$$

Имеем

$$\alpha = V_0 t - \frac{1}{m} \int_0^t dt_1 \int_0^{t_1} P(t_2) dt_2 - \frac{1}{\rho_0 G_0 F} \int_0^t P(t) dt. \quad (32)$$

Подставляя в (26) формулу (32), получаем функциональное уравнение относительно контактной силы P , а продифференцировав уравнение (32) дважды по времени, приходим к уравнению (27), в котором проверка жесткости деформируемого от сжатия рельса проводится по формуле:

$$\frac{\frac{f_0}{n_n F}}{1 - \frac{F}{F_{кр}}} \leq [w], \quad (33)$$

где n_n — коэффициент запаса по прогибам, обычно принимается равным коэффициенту запаса прочности n .

Закключение

Таким образом, учет влияния волновых процессов в рельсах от воздействия на них подвижного состава, описываемый дифференциальными уравнениями позволяет повысить точность расчета возможной потери устойчивости бесстыкового пути, а решение дифференциальных уравнений дает возможность

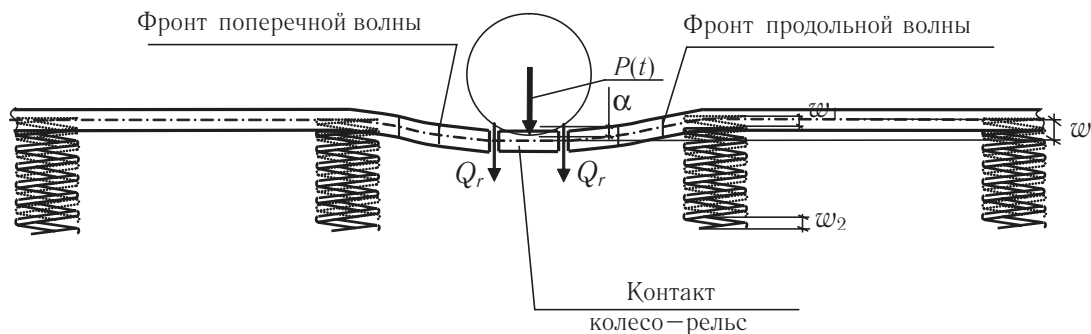


Рисунок. Схема взаимодействия колеса и рельсовой плиты

оценить весь процесс, происходящей в бесстыковом пути, а не только его конечные состояния. Предложенная модель элементов верхнего строения пути позволяет учитывать стационарные и нестационарные процессы, а также знакопеременность действующей нагрузки, что в будущем позволит модернизировать конструкцию железнодорожного пути с достижением требуемых эксплуатационных параметров и оптимизировать характеристики напряженно-деформированного состояния в наиболее нагруженных точках при действии как вжимающей, так и отрывающей силы.



Литература

1. Инструкция по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути (утв. Распоряжением ОАО «РЖД» от 14.12.2016 № 2544р).
2. Яковлева, Т.Г. Железнодорожный путь / Т.Г. Яковлева, Н.И. Карпушенко, С.И. Клинов, Н.Н. Путря, М.П. Смирнов; под ред. Т.Г. Яковлевой. — М.: Транспорт. — 1999. — 405 с.
3. Вериго, М.Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава / М.Ф. Вериго, А.Я. Коган; Под ред. М.Ф. Вериго. — М.: Транспорт, 1986. — 558 с.
4. Ершков, О.П. Характеристики пространственной упругости рельсового пути/ О.П. Ершков // Тр. ЦНИИ МПС. Вып. 192, М., 1960. — С. 59—101.
5. Першин, С.П. Методы расчета устойчивости температурно-напряженного пути и способы ее повышения: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Москва, 1959.
6. Тимошенко, С.П. Устойчивость стержней, пластин и оболочек / С.П. Тимошенко. — М.: Наука, 1974. — 808 с.
7. Timoshenko S.P. Zur frage nach der wirkung eines strosse an einer balken / S.P. Timoshenko // Zeitschrift fur mathematische Physik. — 1914. — Vol.62. — P. 198—209.
8. Горшков, А.Г. Волны в сплошных средах/ А.Г. Горшков, А.Л. Медведский, Л.Н. Рабинский, Д.В. Тарлаковский: учебное пособие для вузов. — М.: Физматлит, 2004. — 472 с.
9. Коган, А.Я. Оценка безопасности эксплуатации бесстыкового пути по условию выброса с учетом его фактического состояния/ А.Я. Коган, А.В. Савин // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. — 2003. — №2. — С. 6—13.
10. Вериго, М.Ф. К вопросу об устойчивости бесстыкового пути под проходящими поездами/ М.Ф. Вериго // Железные дороги мира. — 2002. — №4. — С. 60—65.
11. Пановко, Я.Г. Устойчивость и колебания упругих систем / Я.Г. Пановко, И.И. Губанова. — М.: Наука, 1987. — 352 с.
12. Кукуджанов, В.Н. Распространение упруго-пластических волн в стержне с учетом влияния скорости деформации / В.Н. Кукуджанов. — М.: ВЦ АН СССР. — 1967. — 48 с.
13. Локтев, А.А. Исследование особенностей динамической реакции верхнего строения железнодорожного пути от подвижного состава на основе модели трансверсально-изотропной пластины на деформируемом основании/ А.А. Локтев, А.В. Сычева, Е.В. Запольнова, В.П. Сычев, В.Г. Дмитриев // Проблемы машиностроения и автоматизации. — 2018. — №2. — С. 55—65.
14. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров: Определения, теоремы, формулы / Г. Корн. — М., 2014. — 832 с.
15. Дефекты рельсов. Классификация, каталог и параметры дефектных и остродефектных рельсов. Распоряжение от 23 октября 2014 г. №2499р.
16. Зукас, Д.А. Динамика удара / Д.А. Зукас, Т. Николас, Х.Ф. Свифт, Л.Б. Грещук, Д.Р. Куран. — М.: Мир. — 1985. — 296 с.
17. Rossikhin Yu.A. The impact of a sphere upon a Timoshenko thin-walled beam of open section with due account for middle surfase extension / Yu.A. Rossikhin, M.V. Shitikova // Transactions of ASME. Journal of Pressure Vessel Technology. — 1999. — Vol.121, №4. — P. 375—383.
18. Loktev A.A., Gridasova E.A., Sycheva A.V. and Stepanov R.N. Simulation of the Railway under Dynamic Loading. Part 2. Splicing Method of the Wave and Contact Solutions // Contemporary Engineering Sciences, Vol. 8, 2015, no. 21, 955—962.



РАЗВИТИЕ КЛАССИФИКАЦИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ТЯГОВЫХ ПРИВОДОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЛОКОМОТИВОВ

Рассмотрена задача создания методов поиска новых патентоспособных конструкций тяговых приводов локомотивов. Ранее предложенная классификация тяговых приводов не удовлетворяет поставленным задачам, поэтому в новой классификации добавлен дополнительный уровень группировки по степени интеграции.

Ключевые слова: проблемы создания новой техники, теория знаний, синтез технических решений, классификация



А.С. Космодамианский



В.И. Воробьев

Как показывает практика отечественного локомотивостроения последних лет, при конструировании новых локомотивов значительная часть проблем, как и раньше, связана с поиском конструктивных решений механической части тяговых приводов. Детали тягового привода подвергаются высоким статическим и динамическим нагрузкам, величина которых труднопрогнозируема; воздействиям высоких и низких температур при работе в разных климатических условиях, должны быть размещены в ограниченных габаритах, а требуемый безремонтный пробег основных

узлов за последние 30 лет повышен от 0,8 до 3 млн км и более. Попытки сотрудничества с зарубежными фирмами при создании экипажной части новых локомотивов (фирмы Альстом, Сименс, Бомбардье) привели к применению технологически сложных тяговых приводов, содержащих импортные комплектующие, что ограничивает объем заказов данных локомотивов из-за высокой стоимости. Таким образом, проблема создания методов эффективного поиска новых патентоспособных конструкций тяговых приводов становится все более актуальной.

Космодамианский Андрей Сергеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Тяговый подвижной состав» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: автоматизация агрегатов и систем тягового подвижного состава, электрические передачи локомотивов. Автор более 350 научных работ, в том числе 21 монографии, одного учебника и 20 учебных пособий. Имеет 100 патентов РФ.

Воробьев Владимир Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог» Брянского государственного технического университета (БГТУ). Область научных интересов: электрические передачи локомотивов, тяговый и вспомогательный электроприводы. Автор более 90 научных работ, в том числе 12 монографий. Имеет 70 патентов РФ.

Измеров Олег Васильевич, главный консультант отдела информационных систем хозяйственного управления Администрации губернатора Брянской области и Правительства Брянской области. Область научных интересов: динамика и методы конструирования тяговых приводов рельсового подвижного состава. Автор 81 научной работы, в том числе 19 монографий и десяти учебников. Имеет 81 патент РФ.

Капустин Михаил Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Тяговый подвижной состав» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)), советник секции «Железнодорожный транспорт» Российской инженерной академии (РИА). Область научных интересов: автоматические системы управления транспортными средствами, алгоритмы адаптивного управления тяговым приводом, тяговые свойства локомотива, регулирования сил тяги и торможения. Автор 23 научных работ. Имеет 12 патентов РФ.

Шевченко Дмитрий Николаевич, аспирант кафедры «Тяговый подвижной состав» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: тяговый электропривод, коэффициент сцепления колеса с рельсом, боксование, противобоксовочные защиты, тяговые свойства локомотива, регулирования сил тяги и торможения. Автор шести научных работ. Имеет пять патентов РФ.

В работе [1] была предложена классификация механической части тяговых приводов, включающая в себя все известные тяговые приводы и служившая не только для описания известных конструкций, но и позволяющая искать новые технические решения, вплоть до новых семейств приводов. Далее, в монографии «Кибернетические аспекты методов синтеза электромеханических систем» [2], была предпринята попытка связать принципы классификации, предложенной в [1], с общими принципами проектирования машин, в частности, с матрицей уровней средств управления, описывающей переход от базовых функций к конструкторским решениям. На основе этого О.В. Измеровым был предложен в [3] общий алгоритм типологизации механической части тяговых приводов локомотивов.

С момента выхода работы [3] был запатентован ряд тяговых приводов разной конструкции, компоновка которых характеризовалась, как агрегатная [4]. Таким образом, появился новый описательный признак конструкции, который должен быть отражен в классификации. Настоящая статья посвящена решению данной проблемы.

Результаты анализа и предлагаемая структура классификации

В [4] агрегатный тип привода противопоставляется интегрированному. К типу интегрированных в [4] предложено относить тяговый привод при наличии одного из двух следующих признаков:

- в приводе имеется узел, который выполняет функции нескольких основных узлов привода;
- один из основных узлов привода не может выполнять свои функции без сборки с другим узлом.

Соответственно, к агрегатным в [4] было предложено относить тяговые приводы, которые содержат несколько узлов с одним и тем же типом опирания, сохраняющих работоспособность по отдельности друг от друга и связанные друг с другом подвижными соединениями.

Данные определения можно считать исчерпывающими для вновь разрабатываемых конструкций тяговых приводов, но они недостаточны при описании в классификации ранее созданных конструкций. Так, в традиционном опорно-осевом приводе тепловоза тяговый электродвигатель (ТЭД) выполняет также функции рамы, на которой монтируется тяговая передача, а зубчатая передача не может выполнять свои функции без сборки малого зубчатого колеса с валом ТЭД, а большого — с осью колесной пары. В то же время в этом приводе понятие тяговый редуктор, как таковое отсутствует, что формально препятствует отнесению данной конструкции к интегрированным. Если же мы рассматриваем классификацию, как инструмент поиска решений, с перспективой интеграции этого метода в состав САПР, необходимо разрешить данную логическую коллизию.

Это можно сделать путем выделения не двух, а трех групп конструктивных решений: простая компоновка (не содержащая функциональных узлов в законченном виде), интегрированная (функциональные узлы присутствуют в законченном виде, но не могут выполнять свои функции без сборки с другими узлами) и агрегатная (функциональные узлы присутствуют в законченном виде, и могут выполнять свои функции без сборки с другими узлами). Пример такой группировки для опорно-осевого привода показан на рис. 1.

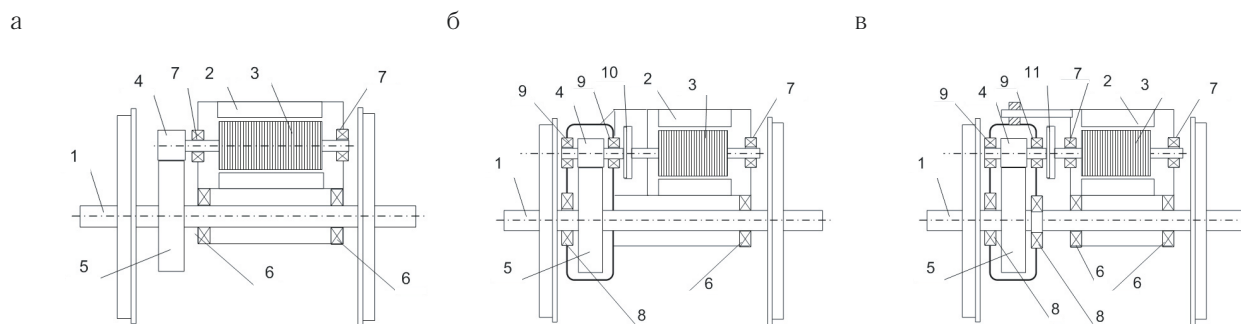


Рис. 1. Примеры трех групп конструктивных решений для опорно-осевого привода:

а – простая; б – интегрированная; в – агрегатная;

1 – колесная пара; 2 – статор ТЭД; 3 – ротор ТЭД; 4 – малое зубчатое колесо; 5 – большое зубчатое колесо;

6 – моторно-осевой подшипник; 7 – подшипник ротора ТЭД; 8 – осевой подшипник редуктора;

9 – подшипник оси малого зубчатого колеса; 10 – дисковая муфта; 11 – упруго-компенсирующая муфта

Как видно из рис. 1, при простой компоновке отсутствует редуктор, как функциональный узел, при интегрированной компоновке имеются общие элементы редуктора и ТЭД, что требует жесткой связи корпусов редуктора и ТЭД, а при агрегатной компоновке редуктор и опорно-осевой ТЭД представляют собой функционально завершённые узлы, поэтому они могут быть соединены шарнирной связью.

Классификация приводов с учетом выделения трех групп конструктивных решений показана на рис. 2. Рассмотрим конкретные примеры образования решений интегрированной и агрегатной компоновки для разных типов приводов.

Для полностью необрессоренных приводов решения агрегатной компоновки пока неизвестны, потому что не была установлена потребность в выделении

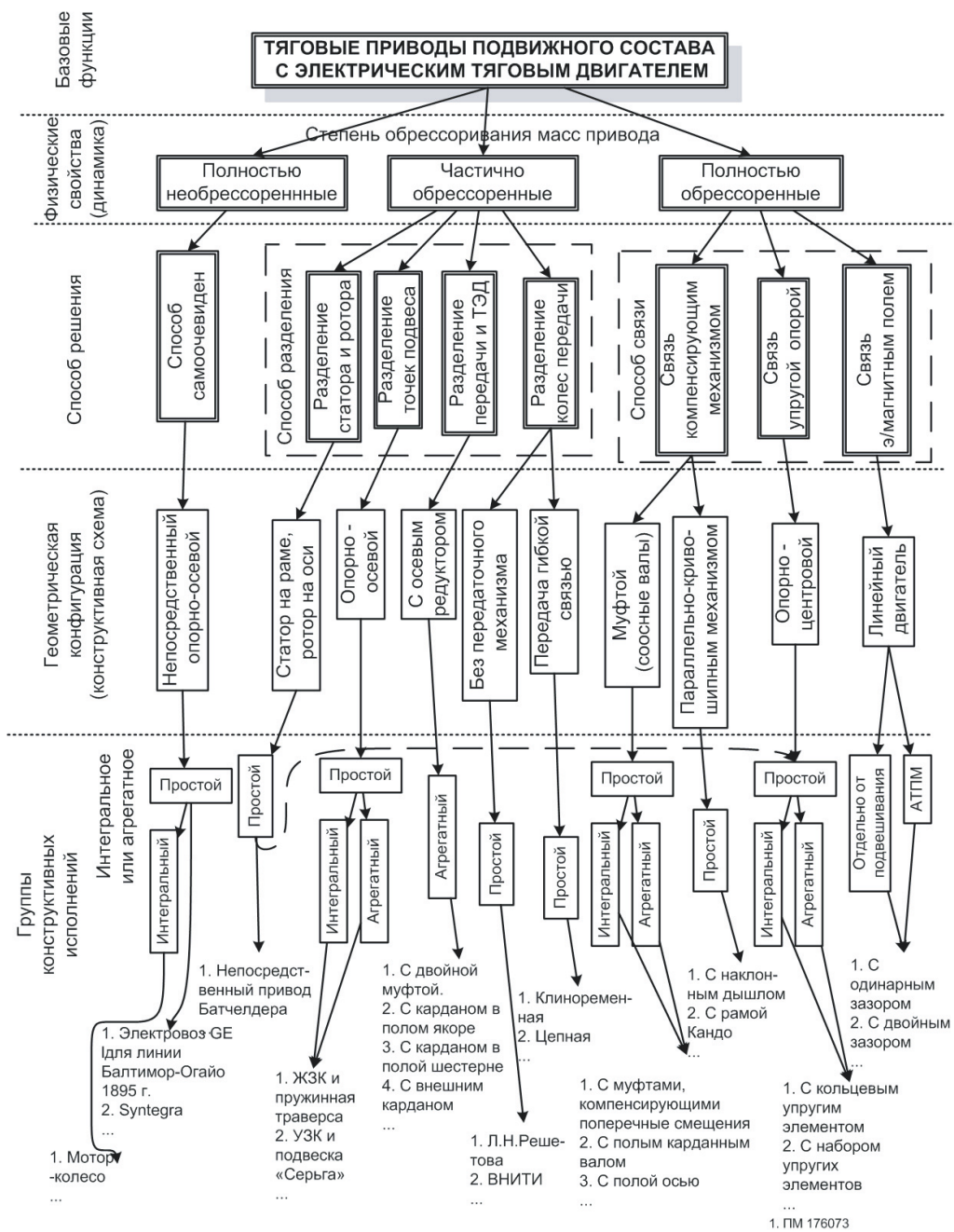


Рис. 2. Классификация тяговых приводов с выделением групп простых, интегрированных и агрегатных решений

ТЭД, как агрегата, если он все равно опирается на колесную пару. Простые конструктивные решения представляют собой ТЭД с ротором на оси колесной пары (например, привод Syntegra фирмы Siemens). Повышение степени интеграции возможно, например, при исполнении привода в виде мотор-колеса, где элементы конструкции ТЭД объединены с элементами конструкции колеса (рис. 3). В конструкции на рис. 3. ТЭД выполнен торцовым, что позволило разместить элементы ротора на диске колеса, уменьшить реакцию на подшипники от поперечных сил и снабдить мотор-колесо дисковым тормозом. На конструкцию мотор-колеса авторами получен патент на полезную модель [5].

Для группы приводов с частичным разделением масс за счет разделения статора и ротора, известен только простой вариант компоновки. При использовании ТЭД с радиальным магнитным потоком — это непосредственный привод Батчелдера. Для ТЭД с осевым магнитным потоком авторами предложен и запатентован целый ряд конструкций, в которых ротор многодисковый, а статор представляет собой несколько секторов, закрепленных на раме тележки

[6;7]. При этом также был предложен и запатентован подвид привода с упругой опорой на колесный центр [8].

Приводы с осевым редуктором по условию самоочевидности относятся к агрегатным конструкциям, поскольку разделение масс привода у них произведено за счет разделения осевого редуктора и ТЭД. Исходя из того же условия самоочевидности, на уровне простой компоновки остались узкоспецифические типы приводов: приводы с разделением колес передачи (без передаточного механизма и с гибкой связью), а также полностью обрессоренные приводы с передачей параллельно-кривошипным механизмом. Теоретически возможно представить себе привод с гибкой связью, в котором цепная передача была бы заключена в корпус редуктора, однако потребности в таком приводе пока не возникает.

В частично обрессоренных приводах с разделением точек подвеса разделение на интегрированную и агрегатную конструкции на данный момент обычно определяется по способу связи редуктора и ТЭД. Авторами предложен и запатентован ряд частично обрессоренных тяговых приводов агрегатной кон-

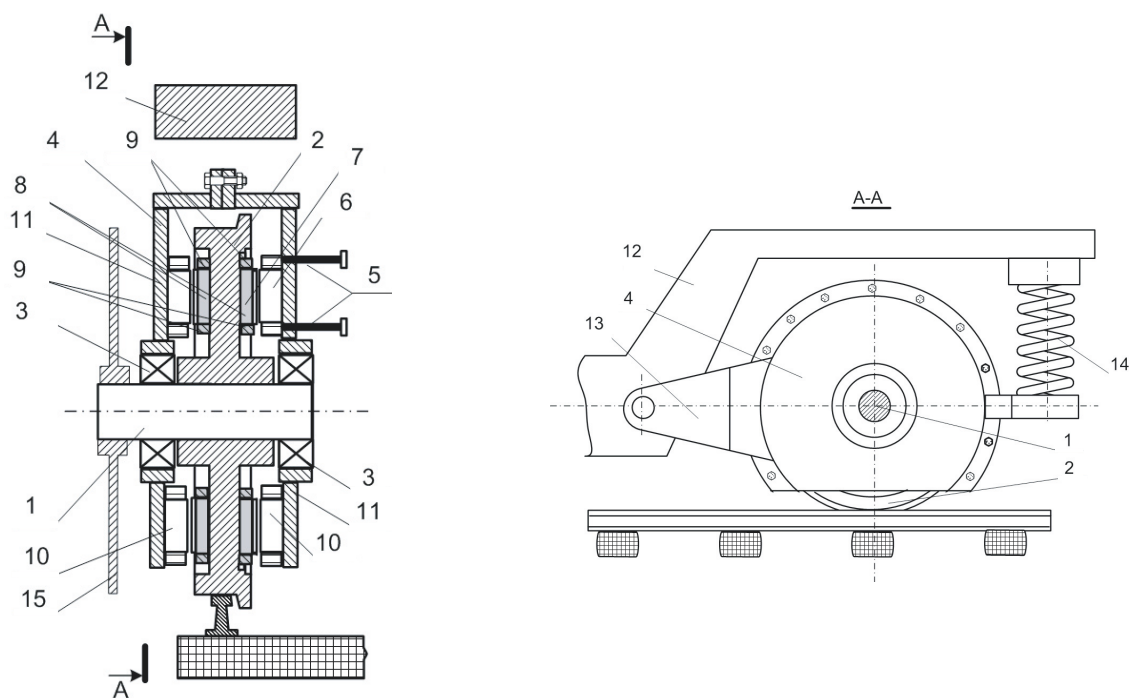


Рис. 3. Мотор-колесо с торцовым двигателем и подвижной осью: 1 – ось; 2 – колесо; 3 – подшипниковый узел; 4 – торцевой асинхронный двигатель; 5 – система охлаждения; 6 – статор; 7 – обмотка ротора; 8 – проводники обмотки; 9 – короткозамыкающие кольца; 10 – кольцеобразные активные части статора; 11 – полукожух; 12 – рама тележки; 13 – поводок; 14 – упругий элемент; 15 – тормозной диск

струкции [9–11], а также разновидность интегрированного привода с использованием ТЭД с осевым магнитным потоком (рис. 4). Благодаря симметричному расположению малого зубчатого колеса в указанном приводе появляется возможность сделать передачу с шевронными зубьями для снижения динамических нагрузок, возникающих в приводе при прохождении неровностей пути. На конструкцию привода получен патент на полезную модель [12].

Для полностью обрессоренных приводов интеграция ТЭД и редуктора или исполнение их в виде отдельных агрегатов может производиться аналогично тому, как она производится для частично обрессоренных приводов с разделением точек подвеса. Разница состоит лишь в том, что между тяговой передачей и колесной парой имеется компенсирующий механизм или упругая опора.

Примером интегрированной компоновки в приводе с обрессоренными массами и карданным валом может служить, например, привод GEAFLEX, в котором связь ТЭД и редуктора реализована аналогично интегрированному приводу Сименса для электровоза

2ЭС10. В связи с этим авторами предложен тяговый привод с полностью обрессоренными массами агрегатной компоновки (рис. 5).

Преимущества агрегатной компоновки здесь также связаны с применением ТЭД с осевым магнитным потоком. Уменьшенные осевые габариты такого ТЭД и небольшая максимальная частота вращения позволяют связать ТЭД и осевой редуктор торсионным валом с двумя зубчатыми муфтами. В этом случае технология изготовления ТЭД и редуктора резко упрощается по сравнению с приводом типа GEAFLEX, аналог которого использован для отечественного электровоза серии ЭП20. На конструкцию привода авторами получен патент на полезную модель [13].

Для приводов с полностью обрессоренными массами, использующими упругую связь привода с колесной парой (опорно-центровыми), компоновка может быть построена по аналогии с приводами с частично обрессоренными массами и разделением точек подвешивания. В частности, авторами предложена конструкция интегрированного опорно-центрального привода, в котором упругое звено позволяет уменьшить

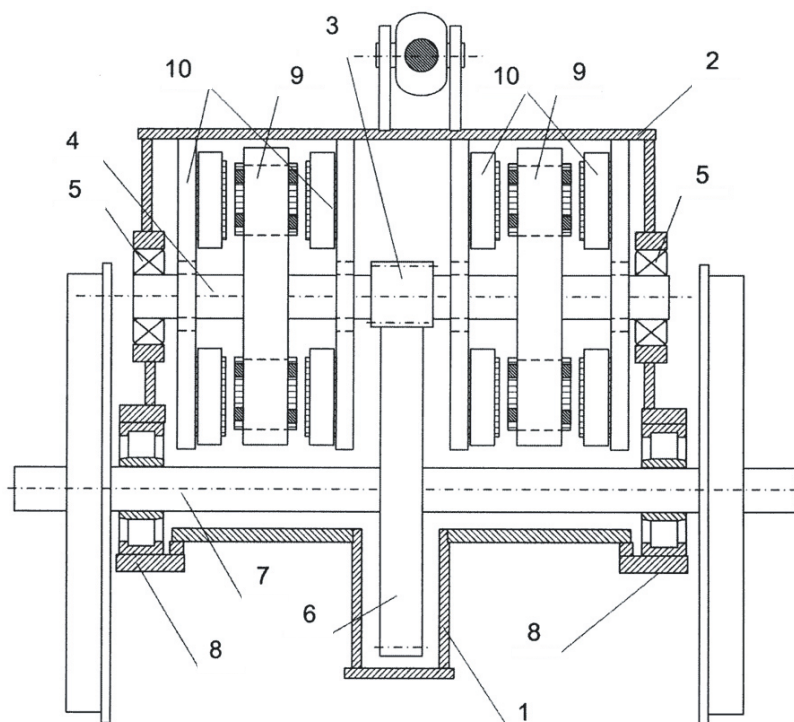


Рис. 4. Общая схема интегрированного тягового привода с асинхронным ТЭД с осевым магнитным потоком:

1 – редуктор; 2 – тяговый электродвигатель; 3 – малое зубчатое колесо; 4 – вал; 5 – подшипниковые опоры; 6 – большое зубчатое колесо; 7 – ось колесной пары; 8 – шапки моторно-осевых подшипников; 9 – ротор; 10 – статор

динамические нагрузки при прохождении неровностей пути, а монтаж осевых подшипников на промежуточной трубе позволяет избежать их перекоса при изгибе оси колесной пары под воздействием осевой нагрузки. На эту конструкцию авторами также получен патент на полезную модель [14].

Наконец, у группы полностью обрессоренных тяговых приводов, для которых связь с двигателем реализована с помощью магнитного поля, интегрированная компоновка может быть реализована путем объединения системы магнитного подвешивания и линейного электродвигателя в асинхронный тягово-подъемный модуль (АТПМ), как это было сделано в макетном образце, построенном НПО «НЭВЗ».

Выводы

1. Установлена необходимость создания методов эффективного поиска новых патентоспособных конструкций тяговых приводов, поскольку попытки

некритического использования зарубежного опыта ведут к существенному усложнению технологии изготовления тягового привода и удорожанию производства, ремонта и обслуживания.

2. В результате анализа имеющейся методологической базы установлено, что ранее предложенная классификация тяговых приводов, ориентированная на поиск новых конструктивных решений, требует дополнения в связи с появлением нового признака группировки компоновочных вариантов привода (интегрированная и агрегатная).

3. Предложено использовать группировку по степени интеграции узлов привода в виде трех групп (простая компоновка, интегрированная и агрегатная). Дана расширенная классификация тяговых приводов, включающая в себя дополнительный уровень группировки по данному признаку.

4. С помощью данной классификации авторами предложены новые конструкции тягового привода. Получено 9 патентов на полезные модели.

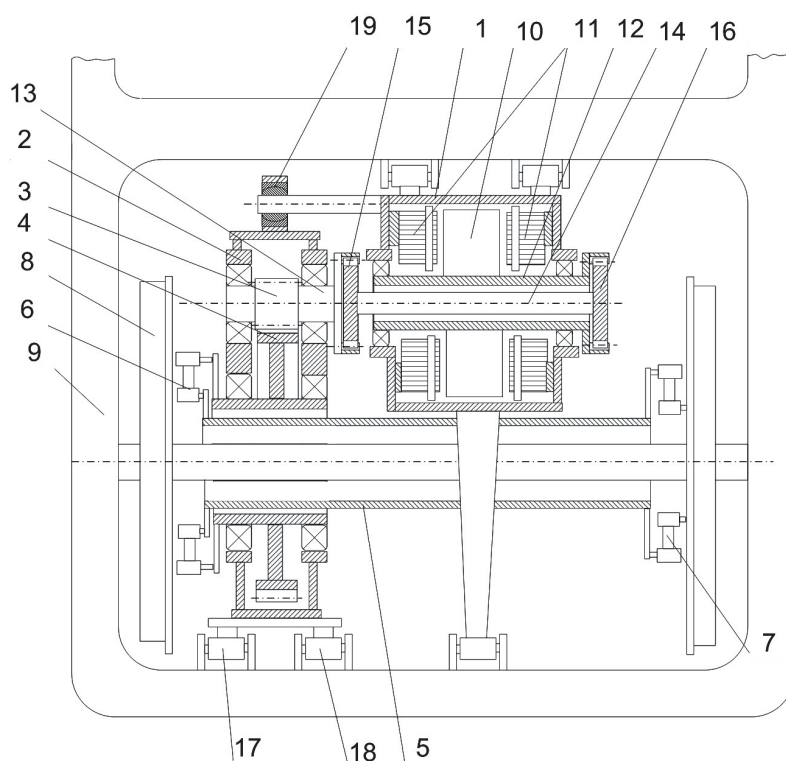


Рис. 5. Агрегатная схема компоновки тягового привода с полностью обрессоренными массами:
1 – ТЭД; 2 – редуктор; 3 – малое зубчатое колесо; 4 – большое зубчатое колесо; 5 – полый вал;
6, 7 – компенсирующие муфты; 8 – колесная пара; 9 – рама тележки; 10 – ротор ТЭД; 11 – статор ТЭД;
12 – вал ТЭД; 13 – вал малого зубчатого колеса; 14 – торсионный вал; 15, 16 – зубчатые муфты;
17, 18 – опоры редуктора; 19 – разъемное подвижное соединение

Литература

1. Измеров, О.В. Классификация как инструмент синтеза механической части тяговых приводов железнодорожного подвижного состава / О.В. Измеров, Г.С. Михальченко // Мир транспорта и технологических машин, — 2012. — №4 (39). — С. 53–60.
2. Кибернетические аспекты методов синтеза электромеханических систем: монография / О.В. Измеров [и др.]; под ред. академика Академии электротехн. наук Рос. Федерации, д-ра техн. наук, проф. А.С. Космодамианского. — Орел: Госуниверситет - УНПК, 2015. — 234 с.
3. Общие принципы классификации механической части тяговых приводов локомотивов [Текст] + [Электронный ресурс] / В.И. Воробьев, О.В. Измеров, А.А. Пугачев, Д.А. Бондаренко // Совершенствование энергетических машин: сб. науч. тр. / под ред. В.В. Роголёва. — Брянск: БГТУ, 2015. — С. 241–248.
4. Воробьев, В.И. Агрегатная компоновка тягового привода для тепловоза с повышенной нагрузкой на ось / В.И. Воробьев, О.В. Измеров. // Совершенствование транспортных машин: сб. науч. тр. / под ред. В.В. Роголева, В.И. Воробьева. — Брянск: БГТУ, 2019. — С. 42–46.
5. Патент на полезную модель № 196906, СПК В61С 9/48 (2019.08); В60К 7/0007 (2019.08); В60К 2007/0092 (2019.08). Электромотор-колесо / Воробьев В.И., Измеров О.В., Пугачев А.А., Космодамианский А.С., Капустин М.Ю., Стрекалов Н.Н., Смотканов А.В., Шевченко Д.Н., Корчагин В.О. Оpubл. 19.03.2020, бюл. №8.
6. Патент на полезную модель № 164732, Российская Федерация, МПК В61С 9/38, В61С 9/48. Тяговый привод локомотива [Текст] / Антипин Д.Я., Воробьев В.И., Космодамианский А.С., Бондаренко Д.А., Новиков В.Г., Измеров О.В., Пугачев А.А. Оpubл. 10.09.2016, бюл. №20.
7. Патент на полезную модель № 178949, Российская Федерация, СПК В61С 9/48 2006.01. Тяговый привод локомотива / Антипин Д.Я., Воробьев В.И., Измеров О.В., Корчагин В.О., Маслов М.А., Пугачев А.А., Воробьев Д.В., Новиков А.С., Шорохов С.Г. Оpubл. 23.04.2018, бюл. №12.
8. Патент на полезную модель № 177073, Российская Федерация, СПК В61С 9/38, Н02К 21/00, Н02К 29/06, В60L 2200/26. Тяговый привод локомотива / Воробьев В.И., Антипин Д.Я., Воробьев Д.В., Измеров О.В., Новиков А.С., Шорохов С.Г., Бондаренко Д.А., Космодамианский А.С., Синицын С.В., Синицына Т.П. Оpubл. 07.02.2018, бюл. №4.
9. Патент на полезную модель № 164797, Российская Федерация, МПК В61С 9/48. Тяговый привод локомотива [Текст] / Воробьев В.И., Измеров О.В., Новиков В.Г., Вдовин А.В., Бондаренко Д.А., Новиков А.С., Воробьев Д.В. Оpubл. 20.09.2016, бюл. №26.
10. Патент на полезную модель № 176845, Российская Федерация, МПК В61С 9/48, В61С 15/00, В60L 9/02. Тяговый привод локомотива / Воробьев В.И., Антипин Д.Я., Измеров О.В., Новиков А.С., Пугачев А.А., Бондаренко Д.А., Шорохов С.Г. Оpubл. 30.01.2018, бюл. №4.
11. Патент на полезную модель № 189364, СПК В61С 15/08 (2013.01). Тяговый привод локомотива / Воробьев В.И., Антипин Д.Я., Космодамианский А.С., Измеров О.В., Маслов М.А., Копылов С.О. Оpubл. 21.05.2019, бюл. №15.
12. Патент на полезную модель № 190846, СПК В61С 9/48 (2019.05); В60L 2200/26 (2019.05). Тяговый привод локомотива / Воробьев В.И., Измеров О.В., Космодамианский А.С., Капустин М.Ю., Стрекалов Н.Н., Смотканов А.В., Шевченко Д.Н., Корчагин В.О. Оpubл. 15.07.2019, бюл. №20.
13. Патент на полезную модель № 200670, СПК В61С 9/48 (2020.08); В61С 9/50 (2020.08). Тяговый привод локомотива / Воробьев В.И., Измеров О.В., Космодамианский А.С., Капустин М.Ю., Стрекалов Н.Н., Смотканов А.В., Шевченко Д.Н., Корчагин В.О. Оpubл. 05.11.2020, бюл. №31.
14. Патент на полезную модель № 166920, Российская Федерация, МПК В61С 9/38, В61С 9/48. Тяговый привод локомотива / Воробьев В.И., Новиков В.Г., Космодамианский А.С., Новиков А.С., Цыганков А.Г., Измеров О.В., Борисов А.А., Пугачев А.А. Оpubл. 10.12. 2016, бюл. №34.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МОСТОТОННЕЛЕМ С КОНСОЛЬНО-ПОВОРОТНОЙ СИСТЕМОЙ ПОГРУЗКИ – РАЗГРУЗКИ



В.В. Артемьева



А.В. Потапов

Представлена автоматизированная система управления висячим мостотоннелем с консольно-поворотной системой погрузки – разгрузки, посредством которой будет оптимизирована его работа. Данная система может применяться для повышения качества и количества грузопотока, перемещающегося по мостотоннелю.

Ключевые слова: Северный широтный ход, мостотоннель, автоматизированная система управления

Северный широтный ход (СШХ) — первый масштабный железнодорожный проект в современной России. Реализация проекта началась в 2018 году, завершение планируется в 2023 году. Магистраль длиной 707 км соединит Северную и Свердловскую железные дороги, что позволит разгрузить Транссибирскую магистраль, переориентировав грузопоток на СШХ. Магистраль имеет очевидную значимость как для укрепления военной безопасности страны, так и для освоения разнообразных ресурсов Арктики и укрепления геополитических позиций.

Предыдущими исследованиями авторов презентована и обоснована эффективность технологии погрузочно-разгрузочных работ с применением висячего мостотоннеля с консольно-поворотной системой

погрузки – разгрузки «материк – море» (ВМКС) в условиях Арктики [1–3].

Работа современных тоннельных сооружений обеспечивается комплексом взаимосвязанных систем, выполняющих функции управления, контроля и мониторинга всех процессов и систем мостотоннеля.

Основная цель представленной работы — разработка автоматизированной системы управления мостотоннелем, с помощью которой будет оптимизирована его работа. Данная система может применяться для повышения качества и количества грузопотока, перемещающегося по мостотоннелю.

Условная модель мостотоннеля показана на рис. 1.

Принцип действия мостотоннеля аналогичен фуникулеру — есть кольцо (1), по которому постоянно кур-

Артемьева Вера Валентиновна, кандидат социологических наук, доцент кафедры «Транспортное строительство» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ МИИТ). Область научных интересов: транспортная логистика, проектирование и конструирование транспортных систем, развитие транспортной инфраструктуры в условиях Крайнего Севера. Автор 35 научных работ, в том числе одного учебного пособия.

Потапов Андрей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспортное строительство» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: транспортное строительство, инженерная геодезия и геоинформатика, локальная история, городская экология. Автор более 120 научных работ, в том числе четырех монографий. Имеет десяти авторских свидетельств и патентов РФ.

сируют грузозахватные и грузоподъемные устройства (спредеры) (2) и два кольца (3, 4), на которых осуществляется погрузка/выгрузка контейнеров с/на подвижной железнодорожный состав и для взаимодействия с контейнеровозом соответственно.

Структура управления мостотоннелем состоит из двух систем:

1. Системы нормальной эксплуатации:

1.1. Механизм взаимодействия с оператором (пульт).

1.2. Механизм управления спредером.

1.3. Механизм перемещения спредера.

1.4. Механизм разгона и торможения спредера.

1.5. Механизм управления за перемещением консоли.

1.6. Механизм сбора, обработки и хранения информации.

2. Системы защит и блокировок.

Системы нормальной эксплуатации

Механизм взаимодействия с оператором

Технологический процесс требует контроля со стороны оператора при проведении погрузочно-разгрузочных работ. Для этого система взаимодействия с оператором оснащается двумя операторскими станциями, размещенными на двух диаметрально противоположных концах мостотоннеля, — для контроля и управления процессом выгрузки/погрузки контейнеров с/на подвижной железнодорожный состав и для взаимодействия с контейнеровозом.

Модель операционной станции показана на рис. 2. Операторская станция состоит из кресла, мониторов, двух панелей — колонн с вмонтированными контроллерами, рычагами, кнопками для контроля и управления механизмами спредера.

Мониторы предназначены для отображения информации о протекающем процессе, вывода информации

об органах управления спредера, а также сигнализации при обнаружении неисправностей в оборудовании мостотоннеля.

С помощью рычагов обеспечивается перемещение спредера. После того, как оператор разместил спредер над контейнером, с помощью кнопок обеспечивается захват контейнера, его подъем и перемещение по мостотоннелю. Данный подход обеспечивает тотальный контроль безопасности оборудования мостотоннеля и перемещаемых контейнеров при погрузочно-разгрузочных операциях.

Механизм управления спредером

За захват контейнера отвечает система управления спредером, навешенным на грузоподъемную машину. Системой осуществляется точное позиционирование спредера над контейнером, его захват с помощью поворотных штырей, которые при посадке вводятся сверху или сбоку, в зависимости от конструкции, в отверстия фитингов по четырем углам контейнера, а затем поворачивает их на угол 90° , захватывая контейнер. Перед началом самонаведения спредер заводят в зону расположения контейнера и подают электропитание на электронные датчики, установленные по углам спредера и соединенные с системой автоматического управления. После завершения самонаведения, система отключает питание электронных датчиков, при этом самонаведение ведется при непрерывном измерении высоты положения спредера h_c , производимом всеми электронными датчиками одновременно, последующим сравнением измеряемых величин h_c с установленной величиной h_b , равной высоте от спредера до контейнера, формировании сигнала Δ , равного разности величин h_c и h_b , и при $\Delta > 0$ подаче на исполнительный механизм грузоподъемной машины сигнала, разрешающего горизонтальное перемещение спредера и блокирующего его вертикальное перемещение, а при $\Delta = 0$ — сигнала, разрешающего вертикальное пере-

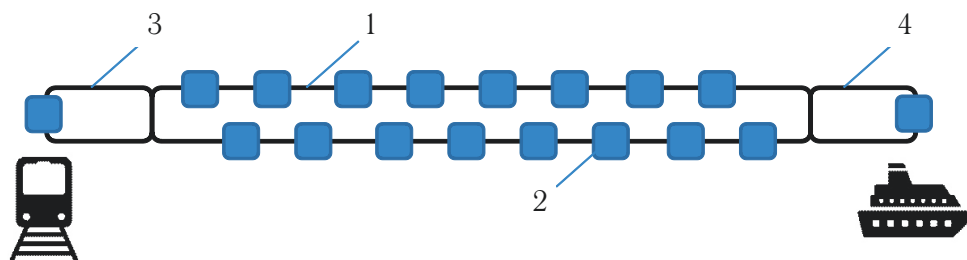


Рис. 1. Модель мостотоннеля

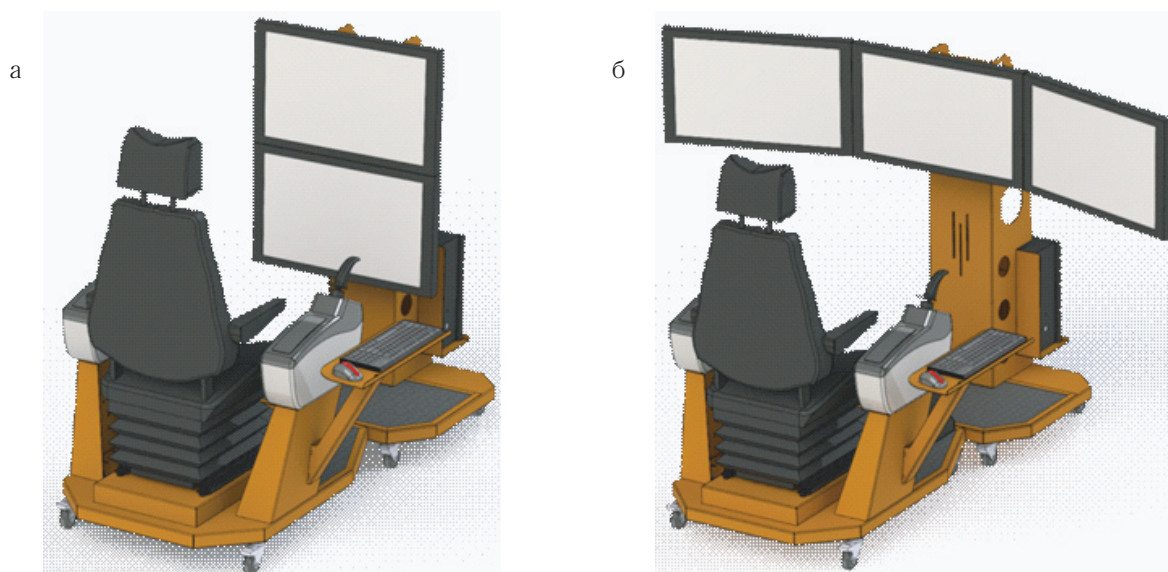


Рис. 2. Модель операторской станции с двумя (а) и тремя (б) мониторами

мещение спредера и блокирующего его горизонтальное перемещение [4]. После перемещения контейнера его освобождают от захватов, производя действия в обратном порядке.

Далее спредер передается в работу в систему перемещения спредера.

Механизм перемещения спредера

Система отвечает за позиционирование спредера на кольцах мостотоннеля, передачу спредера операторскому персоналу. Перемещение спредеров по центральному кольцу мостотоннеля, которое всегда находится в движении. Т.к. погрузка/разгрузка не может осуществляться в движении, то аналогично кабине фуникулера, спредер должен сниматься с центрального кольца и передаваться в работу оператору. Передача спредера на вспомогательные кольца, на которых осуществляется погрузка/выгрузка контейнеров с/на подвижной железнодорожный состав и для взаимодействия с контейнеровозом выполняется с пульта управления по команде оператора. По данной команде спредер снимается с основного кольца и передается в работу системе разгона и торможения спредера.

Механизм разгона и торможения спредера

Система разгона и торможения спредера необходима для того, чтобы оператор, отвечающий за погрузку/разгрузку контейнеровоза мог с комфортной для него скоростью осуществлять требуемые операции (рис. 3).

Трос центральной части мостотоннеля движется с постоянной скоростью. При входе на консоль спредер «снимается» с троса и катится отдельно от него по

системе рельс. Чтобы спредер мягко тормозил и разгонялся, используются ролики, связанные через систему приводных ремней с основным тросом мостотоннеля таким образом, что при входе на консоль скорости троса, роликов и спредера равны. После отстегивания спредера от основного троса ролики плавно замедляют спредер до комфортной для проведения погрузочно-разгрузочных работ скорости. На «старте» от консоли все происходит в обратном порядке [5].

Механизм управления за перемещением консоли

Система предназначена для контроля за перемещением спредеров по основному и погрузочно-разгрузочным рельсовым кольцам. На опорах мостотоннеля установлены датчики измерения скорости ветра, при ветре 15 м/с система замедляет скорость перемещения спредеров до 1,5 м/с и информирует об этом операторов звуковой сигнализацией и индикацией на пультах управления. А при повышении скорости ветра до 17 м/с скорость перемещения спредеров снижается до минимальной — 0,3 м/с.

Для предотвращения соскакивания каната с роликов, на каждой опоре мостотоннеля установлены датчики, фиксирующие эту ситуацию и ловушки рядом с роликами, которые не дадут тросу упасть.

Механизм сбора, обработки и хранения информации

Вся информация о действиях оператора, выявленных ошибках, состоянии органов управления спредера, положения спредера, органах управления разгонной и тормозящей системы, другого оборудования мостотон-



Рис. 3. Система разгона и торможения спредера

неля, информация о погодных условиях передаются в архив для его последующего анализа в случае необходимости, например, выявления износа тросов для их своевременной замены или выявления первопричины аварии/остановки мостотоннеля.

Системы защит и блокировок

Система предназначена для защиты протекающих процессов и оборудования мостотоннеля, для контроля и блокировки неуправляемого скатывания спредера при превышении ветровых нагрузок, превышении токовых нагрузок при перемещении спредера, ослаблении натяжения тросов. Тросы, в свою очередь, тоже проходят регулярный осмотр, который включает в себя проверку, которая называется магнитная дефектоскопия и походит на рентген. Этот процесс направлен на поиск повреждений, деформаций и рваных проволок, а также на проверку каната на предмет увеличения или уменьшения диаметра. Особое внимание уделяется проверке счалки, это то место, где канат соединён, проще говоря, это узел, соединяющий концы каната, что делает его единым кольцом.

Также, что немаловажно, в состав входит пассивная система, предназначенная для обеспечения пожаробезопасной обстановки протекающих процессов для предотвращения воздействия на людей опасных факторов пожара и ограничения материальных потерь от пожаров, выполняющих свои функции без каких-

либо действий человека и без командного импульса автоматических установок системы обнаружения пожара [6].

Выводы

Опыт цифровизации современных систем управления, основанных на микропроцессорной технике, показал, что при всём различии технологических процессов большинство типовых задач можно решать методом небольшого числа стандартных алгоритмов или их комбинаций. Поэтому представляется целесообразным создавать программное обеспечение из отдельных блоков программ для решения типовых задач. В этом случае для составления системы управления достаточно извлечь из памяти машины соответствующие блоки программ и смонтировать из них алгоритм управления для конкретного объекта. Технологическое программирование позволит сократить сроки внедрения и разработки системы управления на объектах.

Исходя из анализа рассмотренной литературы, можно сделать следующие выводы:

1. Технологический процесс разрабатываемой системы управления мостотоннеля может основываться на промышленном контроллере.

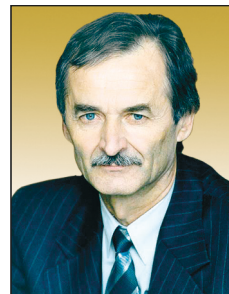
2. Управление запуском и остановкой двигателей производится посредством устройств плавного пуска. 

Литература

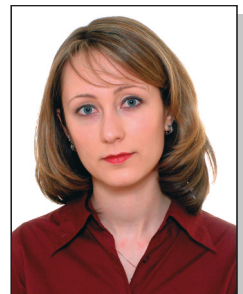
1. Потапов, А.В. Транспортная система северных территорий: история, реальность, перспективы/ А.В. Потапов, В.В. Артемьева // News of Science and Education —2017. —№4. —С. 61–63.
2. Потапов, А.В. Висячий мостотоннель с консольно-поворотной системой разгрузки-погрузки / А.В. Потапов, В.В. Артемьева // News of Science and Education. —2019. —Т.3, №4. —С. 37–41.
3. Потапов, А.В. Висячий мостотоннель с консольно-поворотной системой разгрузки-погрузки / А.В. Потапов, В.В. Артемьева // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. —2019. —Т.1, №14. —С. 190–196.
4. Шемелев, В.Л. Способ перегрузки контейнеров/ В.Л. Шемелев, Ю.Е. Ежов, И.В. Зуб. <https://findpatent.ru/patent/270/2703365.html> [электронный ресурс].
5. Канатная дорога в Нижнем Новгороде. Устройство канатных подвесных дорог. <https://neftyanic.ru/kanatnaya-doroga-v-nizhnem-novgorode-ustroistvo-kanatnyh-podvesnyh/> [Электронный ресурс].
6. СНиП 21-01-97*. Пожарная безопасность зданий и сооружений; Пожарная профилактика в строительстве / Под ред. В.Ф. Кудаленкина. —М., 1985 <https://pozhproekt.ru/enciklopediya/passivnaya-protivopozharnaya-zashhita> [Электронный ресурс].

ПОСТРОЕНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ НА ОСНОВЕ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА

В статье раскрывается проблема корректного построения методов расчета железнодорожных станций. Вводится новый принцип корректности — совпадение функциональной роли расчетного элемента в действительности и в модели. Применительно к станции функциональную ролью является структурное обеспечение технологической операции. Под этим углом рассмотрены существующие методы расчета парков и горловин. Предложены пути их совершенствования.



П.А. Козлов



В.П. Козлова

Ключевые слова: метод расчета, функциональная роль, парк, горловина, технологическая операция

Железнодорожная станция является целостной системой с активным самоподдержанием и поэтому при ее расчете необходимо опираться на системный подход. Элементом системы в этом случае не является случайно выбранная часть структуры. Расчетный элемент должен играть самостоятельную функциональную роль.

Структура станции в целом осуществляет структурное обеспечение технологического процесса, а элемент, соответственно, — структурное обеспечение технологической операции.

Поэтому расчетным элементом станции в моделях может быть только структурная часть, обеспечива-

ющая технологическую операцию (или законченное передвижение) (рис. 1).

В любом методе расчетному элементу осознанно, а чаще неосознанно, присваивается некоторая функциональная роль. В корректном методе фактическая и модельная функциональные роли должны соответствовать друг другу (рис. 2).

Если функциональные роли не совпадают, то метод расчета выдаст ошибочные результаты (рис. 3).

Основные существующие методы — это аналитический и графо-аналитический. Рассмотрим первый с позиций соответствия сформулированному выше принципу при расчете пропускной способности парков и горловин. Для второго требуется отдельная публикация.

Козлов Петр Алексеевич, доктор технических наук, профессор, лауреат Государственной премии РФ, президент научно-производственного холдинга «СТРАТЕГ» (Современные транспортные технологии государства). Область научных интересов: транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте, управление процессами перевозок, системный анализ, управление и обработка информации. Автор более 400 научных работ, в том числе двух монографий.

Козлова Валерия Петровна, доктор экономических наук, ведущий научный специалист научно-исследовательской фирмы «Аналитические и управляющие системы на транспорте». Область научных интересов: риски при развитии транспортной инфраструктуры, оптимизация транспортных систем. Автор 37 научных работ, в том числе двух монографий.

Пархоменко Андрей Алексеевич, аспирант кафедры «Системы управления транспортной инфраструктурой» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: транспортные системы страны, объекты транспортной инфраструктуры, методы повышения эффективности транспортных процессов. Автор пяти научных работ.

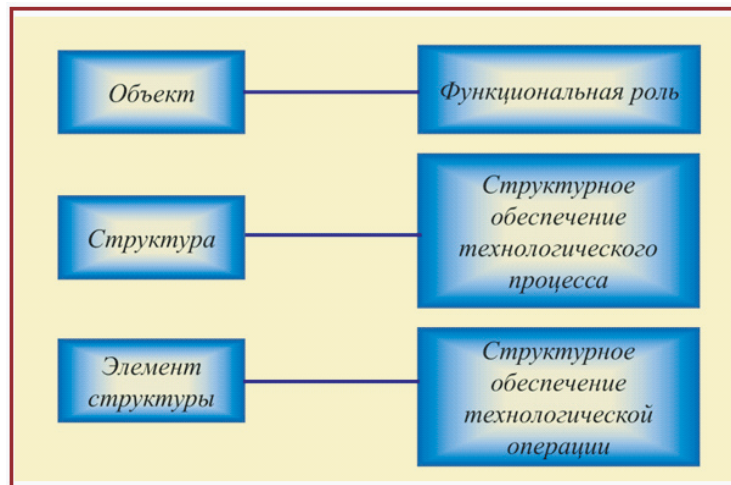


Рис. 1. Функциональные роли структуры системы и ее элемента

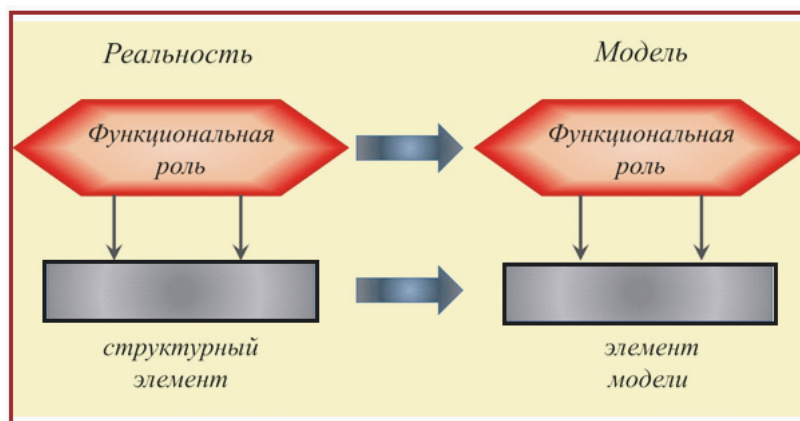


Рис. 2. Основной принцип корректного метода расчета

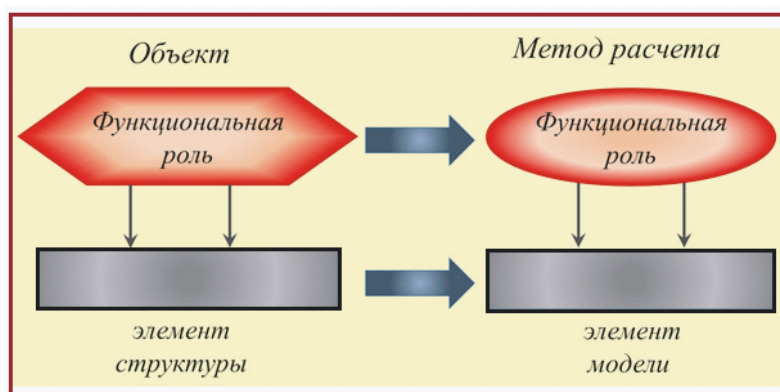


Рис. 3. Несовпадение функциональных ролей структурных элементов в реальности и в модели

Пропускная способность парков

В утвержденных инструкциях по проектированию железнодорожных станций [1;2] предлагается такой метод расчета числа путей в парках:

Пропускная способность станционных устройств определяется числом поездов

$$n = \frac{1440m - \sum T_{\text{пост}}}{t_{\text{зан}}},$$

где m — число работающих однородных элементов устройства (например, число путей в парке);

$t_{\text{зан}}$ — время занятия пути одним поездом;

$\sum T_{\text{пост}}$ — время выполнения постоянных операций, мин.

Собственно, эта формула существует в учебниках уже с 30-х годов прошлого столетия [3]. И затем она переходит из книги в книгу с некоторыми поправками [4–6].

Функциональная роль пути неявно подразумевается в приведенной формуле. Ему отводится роль некоторого канала обслуживания, работающего изолированно. Роль ошибочная. Рассмотрим, почему.

Получается, что путь может самостоятельно обеспечивать выполнение операции «обработка состава» (на путях приема и отправления выполняются собственно только эти операции). Но эта роль присваивается ему неправомерно. Ибо составы обрабатывают специальные бригады ПТО. Число бригад обычно меньше числа путей в парке. Значит, нельзя все пути рассматривать как каналы обслуживания. Каналами могут считаться только пути, на которых работают бригады. Остальные пути — резервные с ожида-

щими составами. Вот как это выглядит в имитационной модели реальной станции (рис. 4).

Здесь на девяти путях одновременно работают только три бригады ПТО. Значит, возникает еще время ожидания бригады. Полезная загрузка путей обработкой составов составляет зачастую менее половины всего времени (рис. 5).

Роль резервных путей обычно рассматривается как только пассивная — места для простоя ожидающих обработки составов. Но эти пути играют и активную роль — преобразователя потока из случайного в управляемый [7]. Это очень важная функция, ибо управляемый поток позволяет повысить уровень возможного полезного использования канала обслуживания.

Далее. Состав убирается с пути локомотивом. Значит, может возникнуть время ожидания его. Это тоже не отображается в формуле. И предполагаемая картина занятости пути (рис. 6,а) существенно отличается от фактической (рис. 6,б).

Функциональные роли пути, как расчетного элемента, в модели и в реальности не совпадают. Метод расчета некорректный.

Пропускная способность горловин

В утвержденных инструкциях [1;2] пропускная способность горловины приравнивается к этому же параметру наиболее загруженной стрелки. Суммируется ее занятость всеми поездными операциями. К полученному числу поездов добавляется такое их число, чтобы загрузка стала 100%. Это и будет пропускная способность горловины.

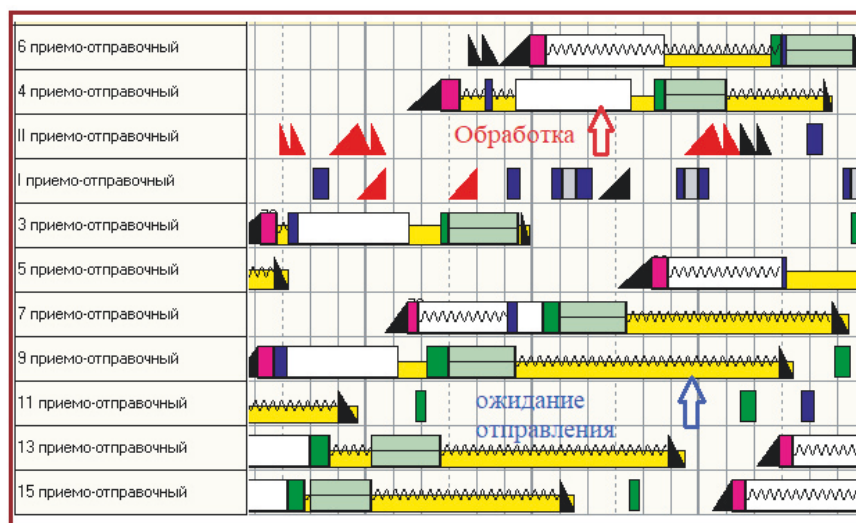


Рис. 4. Работа бригад ПТО по обработке составов

название	графически	технолог	задержка	вагонами
7 п. парка Парк Т		7:14	9:57	2:53
5 п. парка Парк Т		6:56	9:44	2:06
9 п. парка Парк Т		9:00	8:03	1:12
M13 п. парка Парк Т		17:38	0:00	0:00
3 п. парка Парк Т		9:41	5:17	2:34
15 п. парка Парк Т		7:17	8:49	0:28
4 п. парка Парк Т		8:06	4:53	3:24
13 п. парка Парк Т		7:49	7:35	0:25
I п. парка Парк Т		10:19	3:34	0:39

Рис. 5. Полезная и полная занятость путей в парке одной из станций

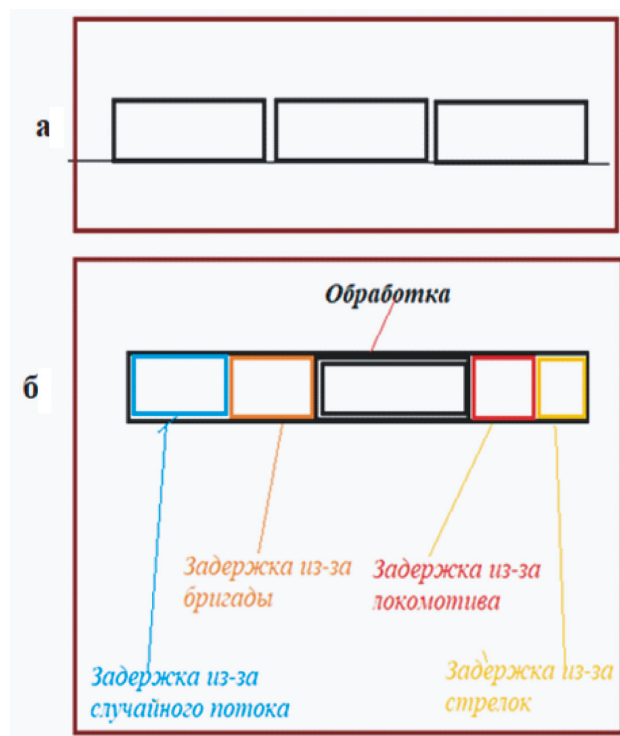


Рис. 6. Схема занятости пути в модели (а) и в реальности (б)

Логически вроде бы правдоподобно. Пока это никто не проверял. А проверка на моделях показала [8], что 100%-й загрузки стрелок достичь невозможно из-за возникновения структурных и технологических потерь (рис. 7). Технологические — это когда горловина простаивает из-за отсутствия готовой технологической операции. Структурные возникают, когда рассма-

триваемый элемент не может быть занят в данный момент, так как создают задержку другие участвующие в операции стрелки.

Но еще более важно следующее положение — стрелка не может быть расчетным элементом, ибо она не имеет самостоятельной функциональной роли. Законченное передвижение всегда обеспе-

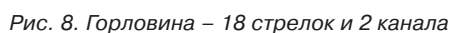
$$\vec{r}_i \equiv \vec{x}_{ij},$$

x_{ij} — i -я стрелка в j -м структурно-функциональном канале.

Конкретная стрелка занимается только вместе с занятостью канала. И загрузку ее можно определить только опосредованно.

Принятый в утвержденных инструкциях метод расчета пропускной способности горловин не соответствует сформулированному выше принципу, корректным его считать нельзя.

Кстати, проверка рассмотренных методов на имитационных моделях убедительно показывает их несостоятельность [8].



Литература

1. Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог. — М.: РЖД, 2010.
2. Проектирование железнодорожных станций и узлов: справ. и метод. руководство / Под ред. А. М. Козлова, К. Г. Гусевой ; 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Транспорт, 1981. — 594 с.
3. Карейша, С.Д. Железнодорожные станции. — М.: Транспечать НКПС, 1930. — 304 с.
4. Акулиничев, В.М. Математические методы в эксплуатации железных дорог [Текст] : [учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта] / В.М. Акулиничев, В.А. Кудрявцев, А.Н. Корешков. — Москва: Транспорт, 1981. — 223 с.
5. Васильев, И.И. Определение необходимой мощности отдельных элементов станции / И.И. Васильев // Труды ЛИИЖТ. — Вып. 140. — М.: Трансжелдориздат, 1949. — С. 67—93.
6. Грунтов, П.С. Расчет числа путей парков приема и отправления / П.С. Грунтов // Труды БелИИЖТ, вып. 26. — Минск, 1963. — С. 70—91.
7. Козлов, П.А. О методах расчета систем железнодорожного транспорта / П.А. Козлов // Железнодорожный транспорт. — 2014. — № 12. — С. 28—32. ISSN 0044-4448.
8. Козлов, П.А. Исследование проектов развития железнодорожных станций и полигонов с помощью имитационного моделирования / П.А. Козлов, О.В. Осокин, В.С. Колокольников // Железнодорожный транспорт. — 2018. — № 6. — С. 12—16.

АДАПТАЦИЯ МЕТОДА ОРГАНИЗАЦИИ ПАССАЖИРОПОТОКОВ ДЛЯ КРУПНЫХ АГЛОМЕРАЦИЙ

Проанализированы особенности пассажиропотоков и организации пассажирских перевозок в агломерациях-миллионерах. Предложены варианты применения метода организации пассажиропотоков для решения практических задач в крупных транспортных узлах.



Е.В. Копылова

Ключевые слова: пассажиропоток, оптимизация, модель, динамическое согласование, организация пассажиропотоков

По различным статистическим данным на настоящее время в Российской Федерации 16 городов-миллионеров с населением свыше 1 млн человек, и около 22 агломераций-миллионеров, ряд которых образован городами с численностью населения менее 1 млн человек. В последние годы разница между городом-миллионером и агломерацией стала менее заметна благодаря созданию единого транспортного комплекса, обеспечивающего перевозки в пригородном, пригородно-городском и внутригородском сообщении. Например, Московский метрополитен расширяется далеко за пределы МКАДа, а внутригородские перевозки железнодорожным транспортом помимо Москвы осуществляются уже в 12 городах России, разработаны планы по реализации проекта «городская электричка» еще в 14 городах. Перед железнодорожным транспортом в агломерациях ставятся новые задачи по освоению различных сегментов не только пригородных, но и пригородно-городских и городских пассажиропотоков. Однако пропускные способности железнодорожной магистральной, станционной и пассажирской инфраструктуры ограничены. Для рациона-

лизации их использования применяют технологические и технические методы.

Технологические методы требуют меньших затрат и заключаются в совершенствовании перевозочного процесса (оптимизация использования подвижного состава и объектов инфраструктуры), в том числе с помощью методов, основанных на организации пассажиропотоков, описанные в работах [1;2]. В указанных работах представлена организация одноструйного и многоструйного (состоящего из нескольких сегментов) пассажиропотока с помощью метода динамического согласования на примере Нижегородской агломерации, пиковые пассажиропотоки в утренние часы в которой не превышают 5000 человек на одном направлении. Поэтому модель при любых исходных данных предлагала в качестве решения перераспределение пассажиропотока во времени в зависимости от заданного критерия оптимизации, чтобы повысить эффективность использования инфраструктуры и подвижного состава при соблюдении требований пассажиров к качеству и условиям поездки. Например, на рис. 1 приведен результат организации пассажиро-

Копылова Екатерина Витальевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы» Института управления и цифровых технологий Российского университета транспорта (МИИТ) (ИУЦТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: пассажирские перевозки на железнодорожном транспорте, логистика пассажирских перевозок. Автор более 30 научных работ.

потока на участке Гороховец — Нижний Новгород, заключающийся в корректировке ритмов отправления пассажиров со станций участка при запрете возникновения очередей на головной станции, то есть при равномерной ритмичной работе инфраструктуры станции назначения и отсутствии проблем в пропуске пассажиров по территории расположенного на ней вокзального комплекса.

Аналогичные решения предлагались и для многоструйного пассажиропотока. Однако при близком к максимальному насыщении пропускной способности участка такие методы не будут эффективны. Это можно наблюдать практически на каждом железнодорожном направлении в Московском и Санкт-Петербургском транспортных узлах в пиковые часы. Для снижения или распределения нагрузки на инфраструктуру модель предложит перенести время отправления пассажиров на более ранние и/или более

поздние периоды, что уже не устроит пассажиров. В агломерациях-миллионерах более 90 % поездок пассажиров в утренние и вечерние часы жестко привязаны ко времени, поэтому «вынести» их из пикового периода невозможно.

Когда в пиковые периоды нет возможности организовать пассажиропоток на имеющейся инфраструктуре, то это значит, что речь идет уже о предельных пиковых пассажиропотоках, когда резервы существующей пропускной способности линий, станций, остановочных пунктов и пассажирских обустройств исчерпаны. То есть исчерпаны технологические способы совершенствования перевозочного процесса, поэтому для дальнейшего развития транспортного комплекса в случае максимальной насыщенности пропускных способностей возникает вопрос поиска путей развития инфраструктуры. Появляется необходимость использования технических способов рацию-

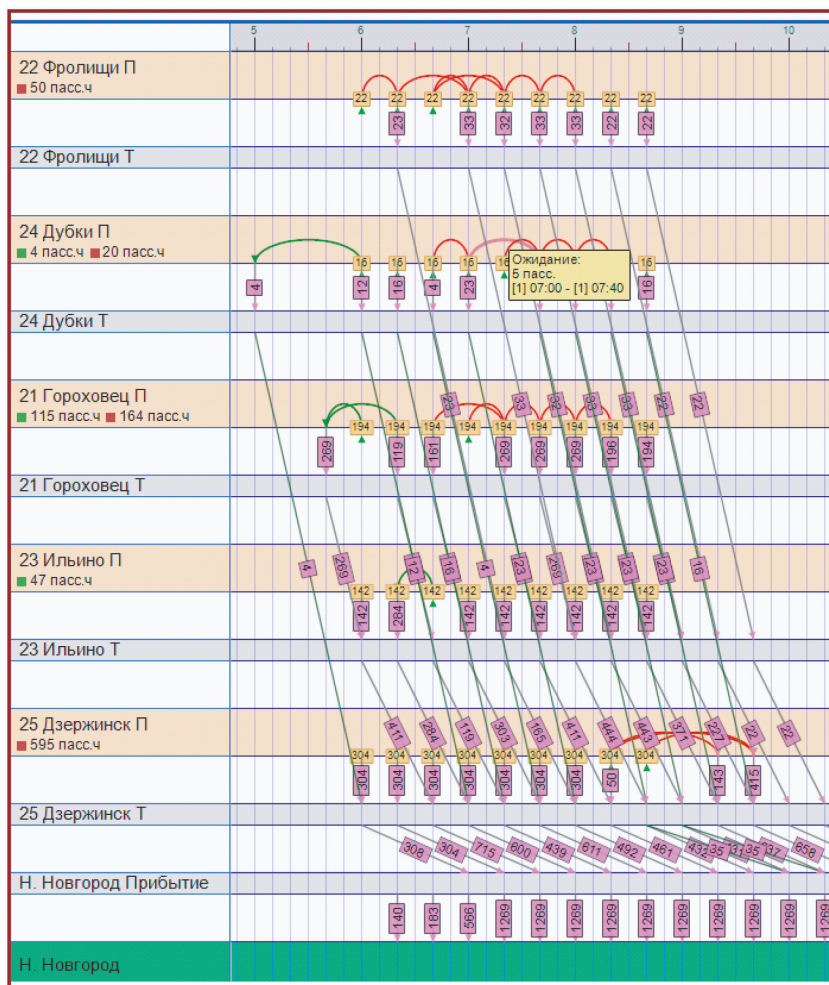


Рис. 1. Пример организации пассажиропотока

нализации перевозочного процесса (проектирование и строительство инфраструктурных объектов, приобретение нового подвижного состава и т.д.), которые являются более капиталоемкими по сравнению с технологическими.

В этом случае вопрос организации пассажиропотоков приобретает новый смысл и значение модели для практики возрастает многократно. Основанная на методе динамического согласования модель организации пассажиропотоков позволяет при любых исходных данных и для любого критерия получить оптимальное решение. Расчетная модель, созданная для конкретного существующего направления (рис. 2), может быть трансформирована в перспективную расчетную модель с учетом предполагаемых инфраструктурных и технологических изменений в транспортной системе агломерации.

Поскольку в модели для каждой станции задаются различные характеристики, а для каждого участка и перегона задается время хода, пропускная способность, стоимость, то эти параметры могут быть

изменены в модели с учетом введения в эксплуатацию новых объектов инфраструктуры, например, за счет строительства дополнительного главного пути увеличена пропускная способность перегонов. Также возможно дополнить модель новыми участками маршрутов, новыми станциями/остановочными пунктами, которые планируется спроектировать.

Таким образом, с помощью модели можно заранее, еще до этапа детальной проработки и проектирования, оценить организацию пассажиропотоков в случае принятия тех или иных решений по развитию инфраструктуры. Модель позволит до выполнения строительных работ выявить «узкие места», которые могут появиться после реализации мероприятий по строительству, и сказать не повлекут ли они за собой развитие магистральной и/или станционной инфраструктуры, необходимость развития вокзальной инфраструктуры и пассажирских обустройств. А главное, можно будет увидеть, насколько предлагаемые мероприятия повлияют на качество транспортного обслуживания пассажиров: не возникнут ли очереди

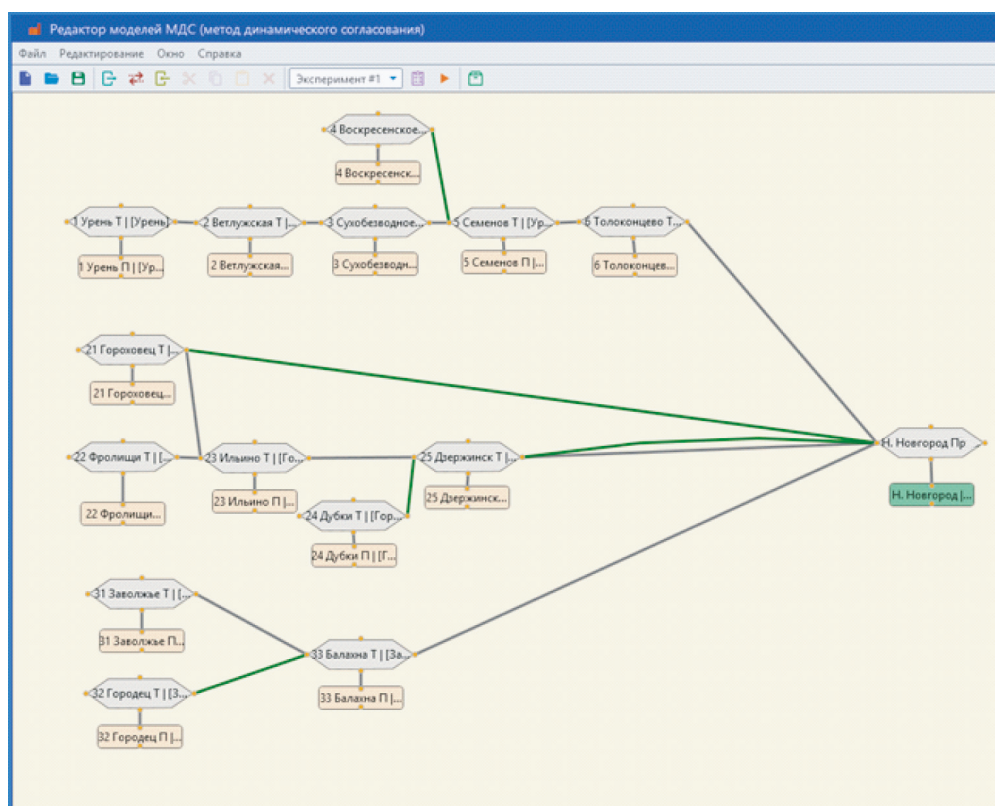


Рис. 2. Схема маршрутов пригородных перевозок в Нижегородской агломерации:

— — линии маршрутов пригородных поездов;
— — линии автобусных маршрутов

на пассажирских платформах, у турникетов, не будет ли дополнительного ожидания пассажирами пригородного поезда в пунктах отправления и т.д. Модель позволяет выполнить организацию пассажиропотоков на еще не спроектированной инфраструктуре и технологически оценить перспективные решения без серьезных вложений финансовых средств.

При проектировании дополнительных главных путей на участках для поездов отдельных категорий, обслуживающих определенный сегмент пассажиропотока, необходимо использовать метод организации многоструйного пассажиропотока. Одним из ярких примеров было строительство дополнительных путей для скорых пригородных поездов на участке Москва—Крюково. Такими поездами пользуются пассажиры, готовые платить дороже за поездку с повышенным комфортом и с большей скоростью. С помощью многопродуктовой модели заранее можно организовать многоструйный пассажиропоток, а также оценить технологическую эффективность предполагаемых мероприятий, в том числе скорректировать их перечень еще на этапе проектирования.

Необходимо учесть, что организация пассажиропотока заключается не только в корректировке времени отправления и прибытия пассажиров, но и в перераспределении пассажиров между видами транспорта. На рис. 2 показаны железнодорожные и автобусные маршруты, связывающие станции и остановочные пункты пригородных участков с головной станцией. Таким образом, при организации пассажиропотока приоритет может отдаваться тому или иному виду транспорта на параллельных маршрутах. Моделирование можно выполнить для существующих или для перспективных маршрутов, чтобы оценить степень влияния ввода параллельных автобусных маршрутов на работу железнодорожного транспорта. Можно рассмотреть возможность и последствия переключения на автотранспорт одного или нескольких конкретных сегментов пассажиропотока с помощью многопродуктовой модели.

Модель позволяет увидеть возможность организации пассажиропотоков не только с учетом параллельных маршрутов железнодорожного и автомобильного транспорта, но и с учетом маршрутов подвоза пассажиров автотранспортом к железнодорожным станциям и остановочным пунктам. На рис. 2 представлены три маршрута подвоза автотранспортом: Городец—Балахна, Дубки—Дзержинск, Воскресенск—Семенов. В данном случае применение метода организации пассажиропотоков позволяет оценить и при необходимости скорректировать комплексные проекты по развитию мультимодальных пассажирских перевозок на отдельных логистических маршрутах или

в целом в агломерации. Метод организации пассажиропотоков также применим для установления транспортного баланса в регионах при разработке комплексных планов транспортного обслуживания населения, поскольку в сравнении со всеми действующими и согласованными региональными властями методиками, он позволяет получить оптимальные решения при любых данных, изменяемых в динамике.

Еще одним важным преимуществом применения метода динамического согласования для организации пассажиропотоков в городских агломерациях могут стать периодические мультимодальные перевозки, организуемые железнодорожным и автомобильным транспортом в периоды предоставления ремонтных «окон» на железнодорожном транспорте. Для этого в модель необходимо внести корректировки. Железнодорожные станции, ограничивающие участок «окна», будут отражены не только как станции зарождения пассажиропотока, но и как станции прибытия (пересадки). Будет изменена динамика пассажиропотока на этих станциях с учетом пересаживающихся пассажиров. На участке «окна» будет снижена пропускная способность и продолжительность поездки пассажира с учетом того, что перевозку будут выполнять компенсационные автобусы. Организация пассажиропотока, основанная на методе динамического согласования, в эти особые временные зоны имеет важное значение не только для обеспечения эффективности использования транспортной инфраструктуры, но и для повышения качества обслуживания пассажиров, поскольку позволит избежать на практике задержек, очередей и других сбоев. В настоящий момент при назначении компенсационных маршрутов и составлении интегрированных графиков движения транспортных средств не используются оптимизационные модели.

В агломерациях с развитой сетью линий метрополитена, в городе-ядре, организация пассажиропотока также может включать в себя моделирование пересадок пассажиров между пригородными поездами и поездами метрополитена в транспортно-пересадочных узлах по участку следования электропоездов (не только на головных станциях железнодорожных линий). Можно смоделировать, как в каждом отдельном случае будет организован пассажиропоток, регулируя «стоимость» на дугах между станциями в модели.

В Московском транспортном узле, где проблема организации пассажиропотока всегда стояла особо остро, она решалась аналитически и с практической проверкой предлагаемых мероприятий. Примером может служить станция Выхино, где пассажиропоток пытались регулировать путем изменения режима

остановок как пригородных поездов, так и поездов метрополитена. В настоящий момент для организации пассажиропотока стали применять и ценовые методы: с начала ноября 2020 года на Таганско-Краснопресненской линии метрополитена введены скидки на проезд до 50% с момента начала работы станций до 07:15 и с 08:45 до 09:15. Реализовывать такие мероприятия на практике без предварительного моделирования не очень эффективно, потому что не понятно, к каким последствиям они могут привести с точки зрения изменения пассажиропотоков и их влияния на работу других станций и линий метрополитена.

Необходимо отметить, что в настоящее время пассажиропоток в особо крупных агломерациях и мегаполисах самоорганизовывается под влиянием внешних факторов (расписаний движения транспортных средств различных видов транспорта, стоимости проезда и пр.). Современные технические средства и информационные технологии позволяют собирать, накапливать, обрабатывать и хранить бесконечно большой объем информации о пассажирах. Обладая такими данными и данными о технико-технологиче-

ских возможностях транспорта, организовывать пассажиропоток можно как на уровне отдельных перевозчиков, так и целых городов, агломераций и регионов. При этом в зависимости от размеров и параметров пассажиропотоков необходимо ставить различные цели их организации и использовать метод динамического согласования для однородного или многоструйного пассажиропотока.

Организация пассажиропотока, основанная на методе динамического согласования, позволяет решать оптимизационные задачи как при реализации технологических, так и технических методов совершенствования транспортного обслуживания пассажиров в агломерациях, включая особо крупные агломерации и агломерации-миллионеры (рис. 3).

Организация пассажиропотоков, основанная на методе динамического согласования, позволяет соблюдать требования пассажиров к качеству транспортного обслуживания (комфортная поездка в нужное время без очередей и задержек), что существенно повышает клиентоориентированность и оптимизирует работу транспорта по освоению пассажиропотоков. 



Рис. 3. Сферы применения метода динамического согласования для организации пассажиропотоков в городских агломерациях

Литература

1. Козлов, П.А. Технология организации пригородного пассажиропотока/ П.А. Козлов, Е.В. Копылова, О.В. Осокин // Вестник РГУПС. —2019. —№3. —С. 109—117.
2. Козлов, П.А. Проблема организации пригородного пассажиропотока/ П.А. Козлов, О.В. Осокин, Е.В. Копылова// Транспорт Урала. —2019. —№4 (63). —С. 28—32.
3. Козлов, П.А. Динамическое согласование в системе «Производство-транспорт-потребление»/ П.А. Козлов, Н.А. Тушин, Е.В. Копылова //Транспорт Урала. —2018. —№4 (59). —С. 3—6.
4. Белянкин, А.Ю. Оценка целесообразности формирования логистических систем обслуживания пассажиров/ А.Ю. Белянкин, С.П. Вакуленко, Е.В. Копылова// Мир транспорта. —2015. —№2(57). —С. 122—128.
5. Вакуленко, С.П. Логистика пассажирских перевозок: особенности и основные понятия/ С.П. Вакуленко, Е.В. Копылова// Мир транспорта. —2015. —№3 (58). —С. 32—36.
6. Пазойский, Ю.О. Оптимизация параметров системы освоения пригородных пассажиропотоков в условиях мегаполиса: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.08./ Юрий Ошарович Пазойский; —М.: МИИТ, 2000.
7. Виноградова, Ю.Ю. Вероятностное моделирование пассажиропотоков при проведении крупных спортивных соревнований // Ю.Ю. Виноградова, Ю.И. Палагин, И.Ю. Пиликина // Транспорт: наука, техника управление, Москва. —2018. —№6. —С. 38—41.
8. Вакуленко, С.П. Стохастическая модель расчета зонных размеров движения пригородных поездов// С.П. Вакуленко // Транспорт: наука, техника, управление (Научный информационный сборник). —Москва: ВИНТИ РАН. —2003. —№11. —С. 7—10.
9. Вакуленко, С.П. Маркетинг и планирование в сфере пригородных пассажирских перевозок/ С.П. Вакуленко, С.А. Калинин // Транспорт: наука, техника, управление (Научный информационный сборник). —Москва: ВИНТИ РАН. —2005. —№11. —С. 17—19.

РЕЗУЛЬТАТЫ РЕСУРСНЫХ ИСПЫТАНИЙ НАСОСОВ ВАКУУМНЫХ ЭЧТК ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ

В статье приведены результаты сравнительных испытаний насосов вакуумных различных марок, применяемых в экологически чистых туалетных комплексах (ЭЧТК) пассажирских вагонов с целью определения лучшего образца по следующим характеристикам: надежность, эксплуатационные показатели.



С.Ю. Алехин



В.Б. Шевченко

Ключевые слова: насос вакуумный, экологически чистый туалетный комплекс, система вакуумная, межремонтный период

Насос вакуумный, расположенный в установке вакуумной 1 (рис. 1) создает разрежение в системе вакуумной, состоящей из бака-накопителя 4 и трубопроводов магистрали слива 3. При достижении давления вакуума в системе вакуумной, контакты реле давления, размещённого в установке вакуумной на входе в насос вакуумный, размыкаются, и происходит остановка работы насоса вакуумного. При повышении давления в системе вакуумной контакты реле давления замыкаются и происходит включение насоса вакуумного. Количество циклов запуска и остановки насоса вакуумного зависит от количества смывов [1].

Работоспособность экологически чистых туалетных комплексов в целом зависит от стабильной и надёжной работы насоса вакуумного. При отказе

насоса вакуумного во время эксплуатации перестает функционировать весь туалетный комплекс со всеми имеющимися на пассажирском вагоне туалетными модулями.

Оптимальным вариантом увеличения межремонтного периода насоса вакуумного пассажирского вагона является выбор для эксплуатации наиболее износостойкой и надёжной модели насоса [4–9].

С этой целью проводятся сравнительные испытания насосов вакуумных разных марок, применяемых в ЭЧТК пассажирских вагонов.

Испытания проводились в автоматическом режиме по циклу, приближенному к циклу при работе в реальных условиях на вагоне:

1. Пуск насоса при давлении вакуума в пневмосистеме не более $-0,05$ бар.

Алехин Сергей Юрьевич, аспирант кафедры «Техносферная безопасность» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)), заместитель генерального директора ООО «Экотол Сервис». Область научных интересов: обслуживание экологически чистых туалетных комплексов. Автор 15 научных работ, в том числе одной монографии. Имеет два патента на изобретения.

Шевченко Виктория Борисовна, старший преподаватель кафедры «Техносферная безопасность» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: экологическая безопасность, охрана труда на железнодорожном транспорте. Автор 32 научных работ.

Сачкова Оксана Сергеевна, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории коммунальной гигиены и эпидемиологии отдела медико-биологических исследований ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожной гигиены» (ВНИИЖГ Роспотребнадзора), доцент кафедры «Техносферная безопасность» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: исследования полимерсодержащих материалов для железнодорожного транспорта, гигиеническая сертификация подвижного состава железнодорожного транспорта. Автор 184 научных работ, в том числе пяти монографий, четырех учебников и восьми учебных пособий. Имеет пять патентов на изобретения.

2. Работа насоса при давлении вакуума $-0,55...-0,6$ бар в течение 5 мин.

3. Увеличение давления вакуума до $-0,65$ бар и автоматическое отключение насоса.

4. Сброс вакуума с $-0,65$ до $-0,05$ бар за время 3 мин.

Пневматическая схема стенда для одного насоса представлена на рис. 2.

При включении схемы управления автоматически запускается насос вакуумный Н1 и срабатывает клапан ВН1. Пневмодроссель ДР2 подсоединяется к ресиверу РС1. Насос вакуумный Н1 откачивает воздух из ресивера РС1. Пневмодросселем ДР2 в

ресивере РС1 устанавливается промежуточное давление $-0,55...-0,6$ бар. Пневмодроссель ДР2 после настройки фиксируется контргайкой.

Через 5 минут клапан ВН1 отключается и подсоединяет к ресиверу РС1 предварительно закрытый пневмодроссель ДР1. Давление вакуума в ресивере РС1 увеличивается до $-0,65$ бар. При этом давлении питание насоса вакуумного отключается. Пневмодросселем ДР1 регулируется время снижения вакуума в ресивере РС1 с $-0,65$ до $-0,05$ бар за 3 минуты. Пневмодроссель ДР1 после настройки также фиксируется контргайкой.

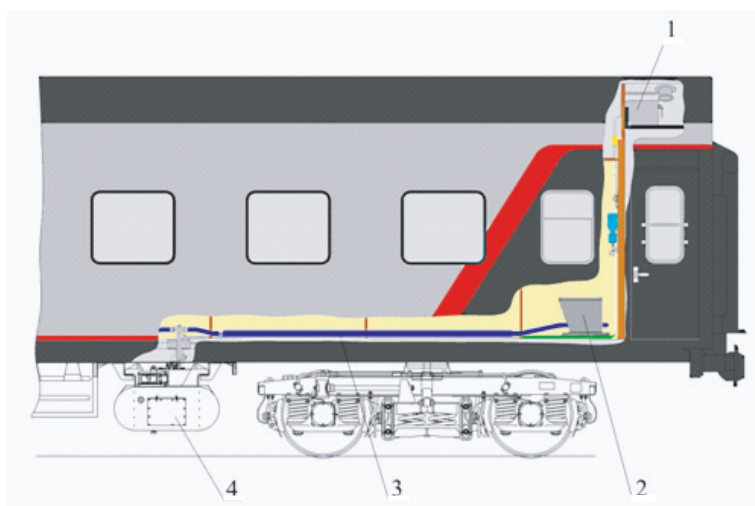


Рис. 1. Устройство вакуумной системы ЭЧТК пассажирского вагона: 1 – установка вакуумная; 2 – унитаз вакуумный; 3 – магистраль слива; 4 – бак-накопитель

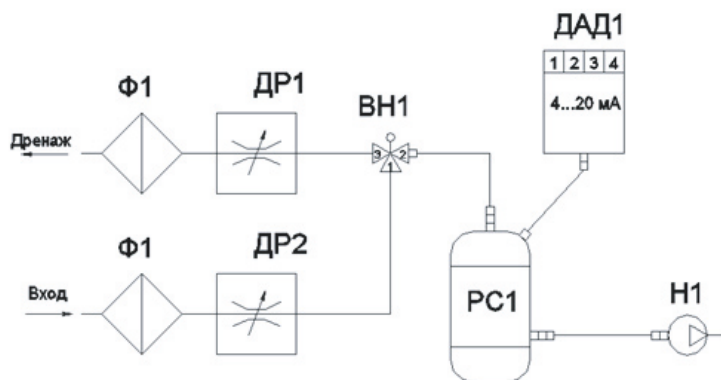


Рис. 2. Пневматическая схема стенда для одного насоса вакуумного: ВН1 – клапан трехходовый VT307V-5D1-02F; ДАД1 – преобразователь давления ПД100И-ДВ0,1-111-0,5; ДР1, ДР2 – пневмодроссель ТМСО 976-1/4-8; Н1 – насос вакуумный; РС1 – ресивер ВС-LR-20,0 (PR21); Ф1 – глушитель 2939 8; трубка – TS1209

Испытание насосов вакуумных проводится методом бесконечного повторения циклов до тех пор, пока не произойдет их остановка из-за снижения производительности до значения, при котором не достигается заданное давление вакуума – 0,65 бар за контрольное время 20 минут.

По результатам ресурсных испытаний (рис. 3) наилучшие результаты показал насос вакуумный DA-120S производства ULVAK KIKO, Япония. Нарботка в количестве 5 280,90 моточасов соответствует 88% от заявленного ресурса работы по паспорту в количестве 6 000,00 моточасов [2].

Насосы вакуумные других производителей показали значения в 2, 4, 19 и 44% от заявленных ресурсов работы по паспорту, что является значительно меньшими значениями.

Ресурсные испытания насосов вакуумных в лабораторных условиях являются наиболее важным видом исследования. Только после тщательного анализа эксплуатационных характеристик всех испытываемых насосов вакуумных и их компонентов можно быть уверенным, что данное изделие будет надежно работать в течение заявленного периода службы, функционировать согласно спецификациям в заданных условиях окружающей среды и эксплуатации и соответствовать всем законодательным и нормативным требованиям [3].



Рис. 3. Результаты ресурсных испытаний вакуумных насосов в моточасах

Литература

1. ПОТ РО-13153-ЦЛ-923-02 Отраслевые правила по охране труда в пассажирском хозяйстве Федерального железнодорожного транспорта, утвержденные 20.11.2002.
2. Стандарт санитарно-гигиенической и противоэпидемиологической безопасности при проведении работ по текущему обслуживанию, демонтажу и ремонту экологически чистых туалетных комплексов замкнутого типа пассажирских вагонов различного назначения и вагонов электропоездов Ст.1.15.11.04-07, утвержденный Главным государственным санитарным врачом по железнодорожному транспорту 16 мая 2007 г.
3. Регламент санитарно-эпидемиологической безопасности при проведении работ по техническому обслуживанию и ремонту экологически чистых туалетных комплексов замкнутого типа пассажирских ваго-

нов различного назначения и вагонов электропоездов Р1. 09-09, утвержденный Главным государственным санитарным врачом по железнодорожному транспорту 08 сентября 2009 г.

4. Экологически чистый туалетный комплекс (ЭЧТК) «Экотол-В». Руководство по техническому обслуживанию (ТО-1, ТО-2, ТО-3) 104.2.763-2009 РЭ.

5. Экологически чистый туалетный комплекс «Экотол-ВАК». Руководство по техническому обслуживанию (ТО-1, ТО-2, ТО-3) 104.771-2009 РЭ.

6. Экологически чистый вакуумный туалет «ЭВАК — 2000Р». Руководство по техническому обслуживанию (ТО-1, ТО-2, ТО-3) 104.768-2009 РЭ.

7. Экологически чистые туалетные комплексы ТК-04, ТК-05, ТК-06. Руководство по техническому обслуживанию (ТО-1, ТО-2, ТО-3) ДРМА.1.04.00.00.002 РД.

8. Экологически чистые туалетные комплексы ТК-02 и ТК-03. Руководство по техническому обслуживанию (ТО-1, ТО-2, ТО-3) 104.837-2013.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ УЛУЧШЕНИЯ УСЛОВИЙ ТРУДА РАБОТНИКОВ ЛОКОМОТИВНЫХ БРИГАД

Разработана формула регрессии для прогнозирования риска здоровью работников локомотивных бригад в настоящее время и на перспективу при реализации мероприятий по снижению шума от локомотивов. Показана высокая эффективность планируемых мероприятий при оценке риска возникновения нейросенсорной тугоухости – одного из наиболее часто встречающихся профессиональных заболеваний у работников локомотивных бригад.

Ключевые слова: работники локомотивных бригад, условия труда, риск, производственно-обусловленные болезни



Л.А. Леванчук



В.А. Аксёнов

Труд работников локомотивных бригад (РЛБ) осуществляется в условиях, по результатам гигиенической оценки, не соответствующие гигиеническим нормативам факторов трудового процесса (напряженности и тяжести), шума (с учетом напряженности трудового процесса классифицируемых как вредные второй степени), общей вибрации, климатических условий [1–3].

При использовании ГОСТ Р 12.0.010-2009 риск для здоровья оценивается как «Высокий».

Анализ перспектив модернизации подвижного состава ОАО «РЖД», показал, что только в 2020 году исключено из парка 569 старых локомотивов и приобретено 566 новых. Кроме того, ведутся разработки по усовершенствованию локомотивов для снижения шума при движении по бесстыковому пути на расстоянии 25 от источника с 84 до 64 дБА, при движении по звеньевому пути с 87 до 67 дБА.

При реализации поставленных задач работа РЛБ будет осуществляться в условиях допустимых показателей акустической нагрузки.

Цель исследования

Определение влияния перспективных направлений улучшения условий труда на показатели риска формирования снижения слуха в результате нейросенсорной тугоухости (НСТ) у работников локомотивных бригад.

Методы исследования

Объект исследования: работники локомотивных бригад, выполняющие перевозки на магистральных грузовых электровозах. Оценка качества условий труда РЛБ выполнена в соответствии с требованиями Приказа Минтруда России №33н (2014) «Методика проведения специальной оценки условий

Леванчук Леонид Александрович, аспирант кафедры «Техносферная и экологическая безопасность» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС). Область научных интересов: охрана труда. Автор четырех научных работ. Имеет один патент на полезную модель.

Аксёнов Владимир Алексеевич, доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ, заведующий кафедрой «Техносферная безопасность» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: технология транспортного машиностроения, ресурсосберегающие технологии на транспорте. Автор более 200 научных работ, в том числе четырех монографий, одного учебника и 14 учебных пособий.

труда» (Приложения №1) [2]; введенного в действие СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [2]. Расчет риска формирования профессиональной НСТ выполнен в соответствии с ГОСТ Р 12.0.010-2009 «ССБТ Системы управления охраной труда. Определение опасностей и оценка риска» [2], дополнительно использованы МР 2.2.0085-14 «Оценка и прогноз профессиональной надежности и профессионального риска водителей различных автотранспортных средств», а также Р №2.2.1766-03 «Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки» (24.06.2003) [2].

Основные результаты

Распространенность заболеваний, формирующихся в результате профессиональной деятельности на объектах транспорта и транспортной инфраструктуры, достаточно высока как в мире, так и в России. Транспортная отрасль по показателям профессиональной заболеваемости работающих в РФ находится в первой тройке отраслей [2]. Профессиональные заболевания у РЛБ подвижного состава составляют

40% от общего числа случаев, зарегистрированных в транспортной отрасли [4;5]. На долю утраты слуха за счет профессиональной НСТ на предприятиях железнодорожного транспорта приходится 66% от числа профессиональных болезней в отрасли [4;5]. 90% всех случаев снижения слуха за счет профессиональной НСТ на железнодорожном транспорте регистрируется у РЛБ. Состояние здоровья РЛБ и функциональное состояние организма влияет на безопасность и надежность результатов труда [4–14].

При определении профессионального риска формирования НСТ в качестве факторов рабочей среды определены уровни шума в кабине локомотива. Расчетный показатель риска утраты здоровья РЛБ в настоящее время на основе использования ГОСТ Р 12.0.010-2009 составил 10,7 и качественно охарактеризован как «Высокий». При реализации запланированных мероприятий показатель составил 10,2 и также охарактеризован как «Высокий», но на границе перехода к «допустимому» (табл. 1).

При проведении исследований дополнительно [15] был рассчитан уровень профессионального воздействия — интегральный показатель, выраженный количественно, с учетом возрастных коэффициентов, приведенных в методических рекомендациях [15].

Таблица 1

Показатель риска утраты здоровья РЛБ на электрической тяге в настоящее время и при реализации запланированных мероприятий

Идентифицированные опасности	Весовой коэффициент ущерба	Весовой коэффициент вероятности наступления ущерба	Численное значение вероятности (частоты) наступления ущерба	Риски по идентифицированным опасностям	Риски на рабочем месте (настоящее время)	Риски на рабочем месте (при реализации запланированных мероприятий)	Оценка значимости риска на рабочем месте (настоящее время)	Оценка значимости риска на рабочем месте (при реализации запланированных мероприятий)
Шум (настоящее время)	15	3	0,11	1,7	10,7	10,2	Высокий	Высокий
Шум (при реализации мероприятий)	15	1	0,04	0,6				
Вибрация общая	10	3	0,11	1,1				
Климатические факторы	10	7	0,27	2,7				
Напряженность труда	15	7	0,27	4,1				
Тяжесть труда	10	3	0,11	1,1				

Расчет проведен по формуле [15]:

$$P=(D_1t_1+D_2t_2+...D_jt_j)K_1,$$

где P — коэффициент интегрального воздействия профессиональных факторов, усл. ед.;

$D_1, D_2, ... D_j$ — уровень воздействия определенного профессионального фактора, усл. ед.;

K_1 — возрастной коэффициент;

$t_1, t_2, ... t_j$ — стаж работы (в годах) [15].

Для определения степени риска снижения слуха при развитии НСТ для получения P расчеты проведены с учетом характера воздействия факторов рабочей среды на РЛБ в настоящее время и при условии реализации запланированных мероприятий.

Расчет величины показателя риска здоровью РЛБ при стаже различной продолжительности дал возможность получить уравнения, позволяющие прогнозировать риск снижения слуха в результате профессиональной НСТ (табл. 2). Начало трудового стажа в качестве РЛБ для расчетов принято в 25-летнем возрасте. На рисунке представлен график, демонстрирующий изменение величины показателей риска

снижения слуха при профессиональной НСТ у РЛБ в настоящее время и при условии реализации запланированных мероприятий.

Выводы

В соответствии с расчетами [15] в настоящее время достижение показателя 135 усл. ед. способствует увеличению показателей заболеваемости с временной утратой трудоспособности, и развитию начальных явлений нейросенсорной тугоухости у РЛБ в возрасте 40 лет (при стаже 10–15 лет) с вероятностью от 4 до 33%. Риск развития НСТ у РЛБ в стажевой группе 27–30 лет достигает величины более 317 усл. ед. и составляет практически 100%.

Полученные результаты указывают, что у РЛБ в стажевой группе 17–20 лет (42–45 лет) высокая вероятность утраты слуха при формировании профессиональной НСТ, имеет причинно-следственную связь с акустической нагрузкой.

Вместе с тем, реализация запланированных мероприятий, позволяя снизить акустическую нагрузку в кабине локомотива до гигиенических нормативов

Таблица 2

Уравнения регрессии динамики показателя риска снижения слуха при развитии профессиональной НСТ у РЛБ на локомотивах в настоящее время и при реализации запланированных мероприятий

Патология и характер воздействия	Уравнение регрессии: $y=f(x)$, где y — риск развития патологии усл. ед.; x — возраст (лет)
Нейросенсорная тугоухость	
— В настоящее время	$Y=9,61612x^2+0,77681x+0,96434$; $R^2=0,96$
— При реализации запланированных мероприятий	$Y=1,5934x^2+2,2347x-1,1$; $R^2=0,97$

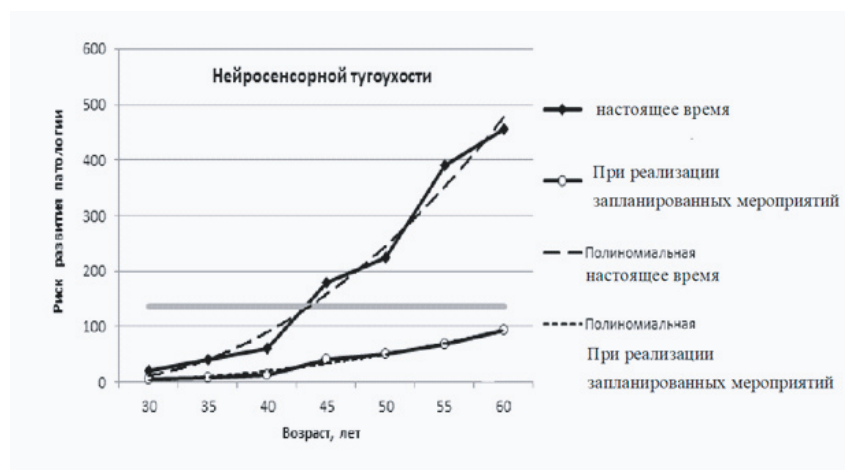


Рисунок. Изменение показателя риска снижения слуха при формировании НСТ у РЛБ на электрической тяге в настоящее время и при реализации запланированных мероприятий

позволит сформировать ситуацию, когда нейросенсорная тугоухость будет исключена из перечня приоритетных профессиональных РЛБ. 

Литература

1. Измеров, Н.Ф. Реализация глобального плана действий ВОЗ по охране здоровья работающих в Российской Федерации/ Н.Ф. Измеров, И.В. Бухтияров, А.В. Прокопенко, Е.Е.Шиган // Медицина труда и промышленная экология. —2015. —№9. —С. 4–10.
2. <http://www.consultant.ru/law/ref/> Электронный ресурс (дата обращения 15.02.2021).
3. Леванчук, Л.А. Методические подходы к оценке условий труда работников локомотивных бригад на основе изучения риска здоровью/ Л.А. Леванчук // Безопасность жизнедеятельности. —2020. —№ 10(238). —С. 13–19.
4. Карецкая, Т.Д. Профессиональная заболеваемость на железнодорожном транспорте/ Т.Д. Карецкая, В.Ф. Пфаф, О.Э. Чернов // Медицина труда и промышленная экология. —2015. №1. —С. 1–5.
5. Чернов, О.Э. Вопросы экспертизы профессиональной пригодности лиц, непосредственно связанных с движением поездов/ О.Э. Чернов, В.Ф. Пфаф // Медицина труда и промышленная экология. —2015. №1. —С. 5–9.
6. Менделевич В.Д., Макаричева Э.В., Сериков В.В., Дмитриева Е.В. и др. О психологическом портрете работников локомотивных бригад ОАО «РЖД» и его роли в профилактике аварийности. Медицина труда и промышленная экология. —2015. —№1. —С. 17–22.
7. Титова, Т.С. Об объективной оценке акустического воздействия/ Т.С. Титова, О.И. Копытенкова, Д.Е. Курепин // Железнодорожный транспорт. 2017. —№5. —С. 75–77.
8. Копытенкова, О.И. Подходы при изучении воздействия шума железнодорожного транспорта на основе методологии оценки риска/ О.И. Копытенкова, Д.Е. Курепин, К.Б. Фридман, Е.Б. Кузнецова // Гигиена и санитария. 2017. Т. 96. —№7. —С. 675–681.
9. Конторович, Е.П. Сосудистый возраст как предиктор нарушений здоровья у работников электро-возостроительного предприятия/ Е.П. Конторович, Н.В. Дроботя, Ю.Ю. Горблянский, Э.Ш. Гусейнова // Медицина труда и промышленная экология. 2018. —№3. —С. 22–26. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2018-3-22-26>.
10. Бухтияров, И.В. Совершенствование критериев потери слуха от шума и оценка профессионального риска/ И.В. Бухтияров, Э.И. Денисов, Н.Н. Курьеров, Л.В. Прокопенко, М.В. Булгакова, О.О. Хахилева // Медицина труда и промышленная экология. 2018. —№4. —С. 1–9. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2018-4-1-9>.
11. Козинцев, И.Н. Динамическое наблюдение за состоянием здоровья работников железнодорожного тоннеля/ И.Н. Козинцев, Е.В. Катаманова, О.Л. Лахман // Медицина труда и промышленная экология. 2017. —№1. —С. 26–29.
12. Мазитова Н.Н., Аденинская Е.Е., Панкова В.Б., Симонова Н.И., Федина И.Н., Преображенская Е.А., Бомштейн Н.Г., Северова М.М., Волохов Л.Л. Влияние производственного шума на слух: систематический обзор зарубежной литературы. Медицина труда и промышленная экология. 2017. —№2. —С. 48–53.
13. Турсунов З.Ш., Верещагина Е.В., Копытенкова О.И. Использование расчета дозы шума и вибрации для гигиенической оценки условий труда. В сборнике: Актуальные вопросы организации контроля и надзора за физическими факторами Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Под редакцией А.Ю. Поповой. 2017. —С. 425–428.
14. Базарова Е.Л., Рослый О.Ф., Тартаковская Л.Я., Рослая Н.А., Плотко Э.Г., Федорук А.А., Ошеров И.С., Порфирьева О.В. Совершенствование методологии оценки индивидуального профессионального риска. Медицина труда и промышленная экология. 2016. —№10. —С. 5–9.
15. Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки. Руководство от 24.06.2003 № 2.2.1766-03. <http://docs.cntd.ru/document/901902053>.

СНИЖЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА НА ОСНОВЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ РАБОТНИКА ПУТЕМ ОБРАБОТКИ ЕГО ИЗОБРАЖЕНИЙ

Представленные в статье математическое и алгоритмическое обеспечение позволяют детектировать эмоции работника, их изменения, степень его усталости, реакцию на различные ситуативные воздействия. Предлагаемые решения могут быть реализованы в программно-аппаратной системе для выработки правильных поведенческих паттернов человека при участии в качестве оператора различных комплексов и технологических процессов.

Ключевые слова: безопасность производственных процессов, человеческий фактор, классификация эмоций, лицевая экспрессия



О.С. Локтева



А.М. Завьялов

Функциональные обязанности оператора, осуществляющего управление технической системой и выполнение определенных технологических процессов с некоторым объектом, связаны с обработкой информации, получение, передача и представление которой происходит посредством использования программно-аппаратных комплексов, т.е. непосредственно оператор не взаимодействует с объектом никаким из органов чувств. Основной особенностью работы оператора является присутствие в технологической цепочке действий дистанционной части [1], касающейся получения первичных данных об объекте, управления рабочими органами машины, контроля выполняемых операций и т.д. Реализация удаленного получения информации, мониторинга, управ-

ления и детектирования параметров состояния и поведения объекта, на который направлена деятельность технической системы, связана не только с наличием программно-аппаратных комплексов технического зрения, робототехнических модулей и элементов, обеспечивающих человеко-машинное взаимодействие, но и с определенным физическим и психоэмоциональным состоянием человека, осуществляющим операторскую деятельность. Работу оператора можно отнести к малоподвижной, при которой наблюдается повышенный тонус мышц спины, шеи и плечевого пояса из-за сидячего положения в определенной позе, также необходима фактически постоянная концентрация внимания и ощущение постоянной ответственности, что приводит к увеличению утомляемости и напря-

Локтева Ольга Степановна, начальник отдела социальной политики ООО «Конмарк». Область научных интересов: охрана труда, социальное партнерство, отношения работник-работодатель, сохранение историко-культурного наследия. Автор 14 научных работ, в том числе одной монографии и пяти учебных пособий.

Завьялов Антон Михайлович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Техносферная безопасность» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: обеспечение надежности и безопасности железнодорожного транспорта. Автор 58 научных работ, в том числе одной монографии.

Локтев Даниил Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные системы и телекоммуникации» Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет). Область научных интересов: мониторинг состояния памятников истории и архитектуры, в том числе объектов транспортной инфраструктуры; использование современных материалов и методик для реконструкции и ремонта объектов транспортного строительства и их элементов, автоматизированные системы мониторинга транспортных средств. Автор 61 научной работы.

женности. Совокупность перечисленных факторов, а также неполностью формализуемый квазипериодический ритм работы зачастую приводят к снижению внимательности и скорости реагирования, общему переутомлению и появлению дополнительных ошибок в действиях оператора [2;3].

В описываемых условиях на первый план выходит не традиционный (IQ), а эмоциональный интеллект (EQ), концепция которого активно развивается в XXI веке и базируется на преобладании этого типа интеллекта в стрессовых ситуациях, когда время для логических выкладок ограничено и при принятии решений преобладают эмоции. Ценность прогнозирования EQ заключается в возможности определения биоритмологического портрета оператора, позволяющего оценить продуктивность работы, наличие возможных ошибок у оператора в различное время суток, а также тестировать способность находить эффективные решения в различных формализованных и внешних ситуациях. Концепция EQ позволяет получать более достоверную информацию о характерных особенностях здоровья и изменениях состояния оператора с течением времени, а также купировать опасности, связанные с эмоциональными всплесками из-за внутренних и внешних раздражителей, что позволит создать алгоритмы обеспечения эффективности действий оператора в широком диапазоне происходящих ситуаций. В целом предлагается использовать EQ как один из важнейших критериев при профессиональном отборе на операторские должности.

В настоящем исследовании оценивать EQ предлагается посредством изучения состояния лицевых мышц человека, которое коррелирует с общим психоэмоциональным состоянием человека и его усталостью. Таким образом, эмоциональное состояние человека предлагается оценивать посредством определения мимических реакций на различные воздействия и информацию, поступающую оператору. Мимические реакции можно определять по произвольным и произвольным фрагментам, а также по физиологическим особенностям (тонус, динамика, симметрии-асимметрии, состояние носогубного треугольника и т.д.) отдельных частей лица оператора на его изображениях.

В настоящее время активно используются дискретная, многомерная и гибридная модели для категоризации эмоциональных данных [4].

При использовании дискретной модели каждая эмоция связана с семантическим полем — конкретным значением или набором значений, которые мы приписываем некоторому эмоциональному состоянию. Один из наиболее известных исследователей в области теории базовых эмоций Экман П. [4], пред-

ложил собственное видение количества таких эмоций, на основе изучения лицевой экспрессии он выделил 6 первичных эмоций: гнев, страх, отвращение, удивление, печаль и радость. Другой модификацией дискретной модели является дифференциальная теория эмоций, основанная на десяти основных эмоциях Изарда К. [5]. Такой подход определяет эмоции как сложные процессы, которые имеют нейрофизиологические, нервно-мышечные и чувственно-переживательные аспекты. Плутчик Р. [6] предложил рассматривать эмоции как средство адаптации, играющую важную роль для приспособления к внешней среде и различным ситуациям. В общем случае, в разных теориях можно найти от 6 до 22 базовых эмоций человека.

Многомерная модель представления эмоций, предполагает использование природы появления той или иной эмоции, а также ее параметры: валентность, активацию и интенсивность, которые участвуют в создании многомерного пространства.

Гибридные или комплексные модели представления эмоций объединяют различные аспекты дискретного и многомерного подхода. Каждая из основного набора в 24 эмоции определяется шестью уровнями силы.

В настоящем исследовании предлагается определять психоэмоциональное состояние работника, степень его усталости посредством обработки образов лица, полученных с помощью фото- или видеодетекторов. При этом решаются задачи распознавания самого работника, распознавания и измерения его лицевой экспрессии.

Распознавание образа работника происходит при помощи алгоритма каскадных классификаторов изображения его лица, который на каждом этапе отмечает наиболее недостоверный классификатор и перераспределяет весовые коэффициенты D_i для каждого элемента образа. Очередная итерация алгоритма увеличивает весовой коэффициент для неправильно классифицированного объекта [1;7] и каскадный классификатор следующего этапа детализирует именно эту часть изображения лица, при этом общая ошибка минимизируется:

$$h_i = \arg \min_{h_j \in H} \epsilon_j, \text{ здесь } \epsilon_i = \sum_{i=1}^m D_i(i) [y_i \neq h_j(x_i)], \quad (1)$$

ϵ_i — взвешенная ошибка каскадного классификатора h_i очередного этапа, $\epsilon_i \geq 0,5$ условие прекращения работы цикла.

Для распознавания эмоций идентифицированного работника в основном используют два основных метода: идентификацию одной из основных эмоций по выражению лица и регистрацию электрической активности мышц лица. Среди известных методик детектирования эмоций можно отметить технику иден-

тификации эмоций по выражению лица (Facial Affect Scoring Technique – FAST), которая предполагает наличие карты дискретных эталонов лицевой экспрессии для каждой из шести базовых эмоций в статической форме. Эталонное значение каждой эмоции состоит из фотографий верхней (лоб, брови), средней (глаза, веки) и нижней (губы, подбородок) частей лица. Вторым способом определения эмоций является система кодирования активности лицевых мышц (Facial Action Coding System – FACS), основанная на движении лицевых мышц, из возможных движений получено 24 паттерна реакций отдельных мышц и 20 паттернов, отражающих работу групп мышц. Третий из наиболее популярных способов детектирования эмоций – эмоциональная система кодирования лицевых движений (Emotion Facial Action Coding System (EmFACS)), базирующаяся на нейрокультурной теории эмоций.

Представленные подходы не всегда дают точный результат, особенно при изменении положения головы, позы, настроения, факторов усталости и т.д., поэтому в жизненно важных системах наблюдения, например, за состоянием операторов-машинистов такие системы приходится дублировать, что сказывается на стоимости конечных программно-аппаратных комплексов диагностики и контроля [8;9].

В настоящей работе для определения эмоционального состояния и степени усталости работников предлагается использовать изображения, получаемые с помощью фотодетекторов, установленных на определенном расстоянии от лица оператора. Предполагается, что определить эмоциональное состояние и усталость можно по наличию затененных областей на изображении лица, состоянию носогубного треугольника, уголков рта, общей отечности, динамических и поверхностных морщин, изменения цвета под глазами, малярных мешков, иных типов гиперпигментации периорбитальной области [2;3]. На первом этапе обработки изображения на образ лица работника наносятся 28 характерных точек (рис. 1).

Каждая из нанесенных точек имеет координаты (x, y) , которые измеряются в условных пикселях. Для определения состояния работника по сравнению с эталонными образцами изображений предлагается использовать три типа функций: длина незамкнутых линий (L), длина замкнутых контуров (K) и интенсивность цветовых переходов (G). Перечисленные функции определяются в соответствии со следующими выражениями, в которых под знаком суммы стоят операторы, вычисляющие расстояния между указанными точками (2), (3) и изменения цвета (4):

$$L_{1-9} = \sum(1+9); L_{5-3-13-15} = \sum(5+3+13+15);$$

$$L_{23-25} = \sum(23+25); L_{19-21} = \sum(19+21);$$

$$L_{19-23} = \sum(19+23);$$

$$L_{15-17} = \sum(15+17); L_{9-10} = \sum(9+10); L_{5-7} = \sum(5+7);$$

$$L_{3-13-15-16-14-4} = \sum(3+13+15+16+14+4); \quad (2)$$

$$K_{1-5-9} = \sum(1+5+9); K_{1-2-9-10} = \sum(1+2+9+10);$$

$$K_{9-10-11-12} = \sum(9+10+11+12);$$

$$K_{9-11-7-5} = \sum(9+11+7+5);$$

$$K_{19-17-18-20-15-16} = \sum(19+17+18+20+15+16);$$

$$K_{3-5-7} = \sum(3+5+7); K_{13-19-21} = \sum(13+19+21);$$

$$K_{7-11-23-19-21} = \sum(7+11+23+19+21);$$

$$K_{25-26-27-28} = \sum(25+26+27+28);$$

$$K_{23-27-28-24-22-26-25-19} =$$

$$= \sum(23+27+28+24+22+26+25+19); \quad (3)$$

$$G_{9-10-1-2} = \frac{9+10}{2} \rightarrow \frac{1+2}{2}; G_{7-5} = 7 \rightarrow 5;$$

$$G_{7-11-23} = \frac{7+11}{2} \rightarrow 23; G_{19-21} = 19 \rightarrow 21;$$

$$G_{17-18-15-16} = \frac{17+18}{2} \rightarrow \frac{15+16}{2};$$

$$G_{27-28-25-26} = \frac{27+28}{2} \rightarrow \frac{25+26}{2}; G_{12-8-24} = \frac{12+8}{2} \rightarrow 24;$$

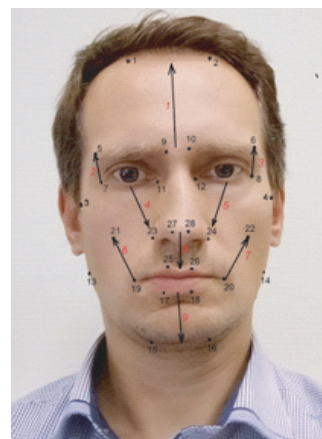


Рис. 1. Расположение характерных точек и цветовых переходов на образе работника

$$G_{8-6}=8 \rightarrow 6; G_{20-22}=20 \rightarrow 22. \quad (4)$$

Разработанное математическое и алгоритмическое обеспечение может не только определять состояние работника на рабочем месте, но и использоваться в тренажерном программно-аппаратном комплексе для выработки навыков стрессоустойчивости у операторов при моделировании различных ситуаций.

Схематическое представление алгоритмов работы такого тренажерного комплекса изображено на рис. 2,3.

Группа предложенных критериев для оценки состояния работника по его образу и каскадные классификаторы для его распознавания, объединенные алгоритмическим и информационным обеспечением позволяют детектировать состояние работника в режиме реального времени. Предлагаемый подход может составить существенную конкуренцию существующим системам детектирования и распознавания эмоций людей, например, таким как Face Reader, EMotion Software, FacE Analysis System, FaceSecurity, EmoDetect.



Рис. 2. Схема организации оценки и воздействия на состояние работника

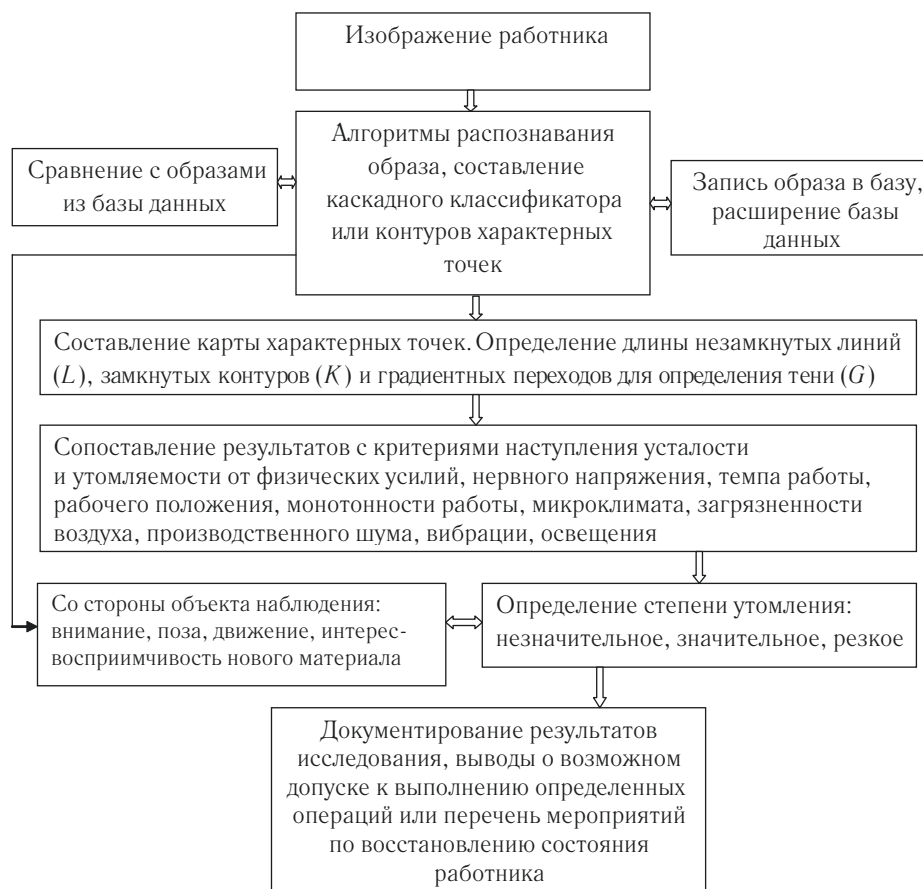


Рис. 3. Схема построения алгоритмического обеспечения для определения текущего состояния работника

Заключение

Рассмотренные системы классификации эмоций и усталости существенно влияют на процесс разметки визуальных образов работников. Принятая за основу дискретная модель, осуществляющая классификацию согласно методике измерения и описания лицевых поведений, хорошо адаптируется для оценки состояния работника как непосредственно на рабочем месте, так и в ходе поведенческого аудита в различных стрессовых ситуациях на тренажере.

Разработанное математическое обеспечение позволит обрабатывать образы работников на изображениях, полученных как с помощью стационарной фотосистемы, так и с помощью их смартфонов. В результате может быть проведена оценка психоэмо-

ционального состояния и степени усталости в режиме реального времени.

Модифицированная дискретная модель, осуществляющая классификацию эмоций согласно методике измерения и описания лицевых поведений, позволяет упростить алгоритмы детектирования и выделить три итоговых класса эмоциональных состояний: позитивное, негативное или нейтральное. Такая классификация позволяет с наименьшим числом вычислительных операций определить реакцию и состояние тестируемого на тренажере работника при различных видах внешнего воздействия, а также составлять психоэмоциональный портрет оператора, для прогнозирования его поведения и действий в различных ситуациях на реальном рабочем месте.



Литература

1. Локтев, А.А. К задаче проектирования модуля визуального распознавания элементов верхнего строения пути на высокоскоростных магистралях/ А.А. Локтев, В.П. Сычев, Д.А. Локтев // Транспорт Российской Федерации. –2017. –№1(68). –С. 22–26.
2. Локтев, А.А. Алгоритм распознавания объектов/ А.А. Локтев, А.Н. Алфимцев, Д.А. Локтев // Вестник МГСУ. –2012. –№5. –С. 194–201.
3. Локтев, А.А. Алгоритм размещения видеокамер и его программная реализация/ А.А. Локтев, А.Н. Алфимцев, Д.А. Локтев // Вестник МГСУ. –2012. –№5. –С. 167–175.
4. Психология эмоций: я знаю, что ты чувствуешь / Пол Экман ; [пер. с англ. В. Кузин]. –2-е изд. – Москва: Питер, 2013. –333 с. : ил., портр.; 21 см. ISBN 978-5-459-00734-3. (Серия «Сам себе психолог») Пер.: Ekman, Paul Emotions Revealed New York: Henry Holt and Company, 2003 cop. 978-0805083392.
5. Изард К.Э. Психология эмоций / Пер. с англ. –СПб.: Издательство «Питер», 1999. –464 с.: ил. (Серия «Мастера психологии»).
6. Plutchik R, Kellerman H. & Conte H.R. A structural theory of ego defenses and emotions. In C.E.Izard (Ed.), Emotions in personality and psychopathology. N.Y. Plenum, 1979. –P. 229–257.
7. Loktev D.A., Loktev A.A. Determination of object location by analyzing the image blur // Contemporary Engineering Sciences. –2015. –Т. 8. –№9. –С. 467–475.
8. Локтев, Д.А. Измерение расстояния до движущегося объекта с помощью комплексной системы видеомониторинга/ Д.А. Локтев, А.Н. Алфимцев // Инженерный журнал: наука и инновации. –2013. –№11(23). –С. 4.
9. Алфимцев, А.Н. Сравнение методологий разработки систем интеллектуального взаимодействия/ А.Н. Алфимцев, Д.А. Локтев, А.А. Локтев // Вестник МГСУ. –2013. –№5. –С. 200–208.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОГО ПРЕПАРАТА ДЛЯ ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ

Проведены исследования по оценке эффективности и безопасности биологического препарата АГЭ (агломерирующий гидросорбционный эмульгатор). Показаны преимущества данного препарата по сравнению с другими методами пылеподавления.



О.С. Сачкова



В.В. Самойлов

Ключевые слова: пылеподавление, охрана труда, уголь, угольная пыль, оценка эффективности

По данным Росприроднадзора и Роспотребнадзора 56 миллионов россиян в 143 городах подвергаются воздействию химических веществ в воздушной среде, предельно допустимые концентрации которых, превышают установленные гигиенические нормативы. Росгидромет отмечает, что 86% всех контролируемых городов в 2020 году превысили нормы загрязнения по качеству воздушной среды. В рамках национального проекта «Экология» и федерального проекта «Чистый воздух» поставлены задачи по снижению совокупного объема выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух на 22% к 2024 году.

Транспортировка углей сопровождается загрязнением атмосферного воздуха угольной пылью, которая наносит серьезный ущерб окружающей природной среде, а также представляет значительную опасность

для здоровья работников. В связи с этим снижение пыления углей при их перемещении является в настоящее время актуальной проблемой, особенно учитывая сложную экологическую обстановку в местах погрузки, разгрузки и транспортировки железнодорожным транспортом.

Одним из наиболее перспективных методов борьбы с пылением углей является применение современных технологий биологического пылеподавления.

Пылеподаватель АГЭ может быть применен для предотвращения распространения угольной пыли в процессе транспортировки в полувагонах.

Препарат прошел апробацию на объектах хранения отходов обогащения полезных ископаемых, рудниках, полотнох грузовых и обслуживающих дорог и нашел применение в горной и других видах промышленно-

Сачкова Оксана Сергеевна, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории коммунальной гигиены и эпидемиологии отдела медико-биологических исследований ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожной гигиены» (ВНИИЖГ Роспотребнадзора), доцент кафедры «Техносферная безопасность» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: исследования полимерсодержащих материалов для железнодорожного транспорта, гигиеническая сертификация подвижного состава железнодорожного транспорта. Автор 184 научных работ, в том числе пяти монографий, четырех учебников и восьми учебных пособий. Имеет пять патентов на изобретения.

Самойлов Вадим Вадимович, аспирант кафедры «Техносферная безопасность» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: охрана труда, специальная оценка по условиям труда, профессиональные заболевания. Автор пяти научных работ.

Елин Альберт Максимович, доктор экономических наук, доцент, учёный секретарь Всероссийского научно-исследовательского института труда Минтруда России. Область научных интересов: безопасность производственных процессов, охрана труда. Автор более 150 научных работ.

сти по всему миру. Важнейшими характеристиками пылеподавителя АГЭ являются его нетоксичность, полная биоразлагаемость, взрыво- и пожаробезопасность.

Целью исследований является санитарно-гигиеническая оценка снижения эмиссии угольной пыли за счет применения пылеподавителя АГЭ в условиях, приближенных к реальным при использовании на объектах железнодорожного транспорта, в том числе — при использовании данного препарата при транспортировке угля в грузовых вагонах открытого типа.

Для обеспечения сохранности грузов используют различные методы. В зависимости от сферы применения их можно разделить на: универсальные с помощью, которых попутно с сокращением потерь решаются другие задачи, связанные с совершенствованием технологии перевозок, и специфические меры более узкого назначения, предназначенные только для обеспечения сохранности перевозимых грузов.

Пылеподаватель АГЭ представляет собой жидкий продукт, который содержит живые непатогенные микроорганизмы, полученные из природных источников. Действие препарата направлено на снижение пылеобразования антропогенного происхождения.

Согласно данным паспорта безопасности в состав препарата входят консорциум непатогенных микроорганизмов, выделенных из объектов окружающей среды (почва и растительные объекты), полимеры, полученные из крахмала с натуральными увлажнителями, глицерин, вода и поверхностно-активные вещества, полученные из деревьев и растений (табл. 1). Препарат биоразлагаем, не оказывает неблагоприятного влияния на окружающую среду, стабилен, взрыво- и пожаробезопасен.

Препарат нетоксичен (предельно-допустимая концентрация глицерина в воздухе рабочей зоны 10 мг/м^3 , 4 класс опасности), может оказывать легкое раздражение слизистых глаз и кожи. Согласно отчету научно-исследовательской работы ФБУН «Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии» (ГНЦ ПМБ) консорциум бактерий, входящих в состав препарата, является невирулентным, нетоксичным, нетоксигенным, не способен к диссеминации в крови и внутренних органах.

Согласно отчету ИЦ АО «СЖС Восток Лимитед» разница результатов исследования образцов угля до и после обработки пылеподавателем АГЭ по всем параметрам полного технического анализа, полного петрографического анализа, анализа содержания хлора и мышьяка отсутствует или находится в пределах воспроизводимости методов, что свидетельствует об отсутствии влияния обработки угля препаратом на данные технические характеристики угля.

Метод испытаний пылеподавателя АГЭ предназначен для оценки эффективности снижения пыления при его применении при транспортировке угля на железнодорожном транспорте, приближенных к реальным условиям эксплуатации.

Сущность метода заключается в определении концентраций угольной пыли, создаваемых в замкнутом пространстве под влиянием воздушного потока на открытую поверхность угля, засыпанного в емкость, без и после нанесения пылеподавателя АГЭ. Условия проведения эксперимента моделируют реальные условия процесса транспортировки угля железнодорожным транспортом.

Оценка препарата производилась специалистами кафедры «Техносферная безопасность» ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ) и лаборатории коммунальной гигиены

Таблица 1

Состав пылеподавателя АГЭ

Компоненты состава	Содержание, %
Сырой глицерин	<50
Полимер	<1,2
Вода	<47
Микроорганизмы: • B.subtilis subsp.subtilis; • B.subtilis subsp.inaquosorum; • B.megaterium; • B.licheniformis; • B.amyloliquefaciens.	<1,8

и эпидемиологии отдела медико-биологических исследований ФГУП ВНИИЖГ Роспотребнадзора в специально оборудованных помещениях в соответствии с «Программой и методикой санитарно-гигиенических испытаний пылеподавителя АГЭ».

Определение эффективности пылеподавления производилось для угля мелкой фракции (до 25 мм). Общая проба угля была трижды перемешана и далее разделена на равные части с помощью ротационного делителя.

Испытания проводились при нормальных климатических условиях:

- температура воздуха 25 ± 10 °С;
- относительная влажность воздуха 45–80 %;
- атмосферное давление 84,0–106,7 кПа (630–800 мм рт. ст.).

Схема испытательной установки представлена на рисунке.

Модель нагруженного полувагона представляет собой металлическую емкость заполненную углем. Размеры емкости, м:

- высота – 0,22;
- длина – 1,30;
- глубина – 0,30.

При проведении испытаний применяли следующие основные средства измерения и испытательное оборудование:

- газоанализатор универсальный ГАНК-4 (диапазон от 0,001 до 1000 мг/м³ и от 0 до 100 % объемных. Погрешность измерения $\pm 20,0$ %);
- пробоотборное устройство ПУ-4Э;
- анемометр (диапазон измерения скорости движения воздуха до 30 м/с);
- вентилятор осевой (средняя скорость потока воздуха в выходном сечении вентилятора до 30 м/с);
- устройство орошения для нанесения действующего раствора под давлением;
- электронные весы Kern 442 (цена деления 0,1 г, диапазон взвешивания 300 г, диапазон тарирования 300 г, воспроизводимость 0,1 г, линейность $\pm 0,2$ г);

- электронные весы АВТ-150-12Ж (диапазон взвешивания 150 кг, линейность $\pm 0,1$ кг).

К средствам измерений, не входящим в состав испытательного оборудования, относятся:

- термогигрометр «ТКА-ПКМ» – для контроля температуры и влажности при проведении экспериментов (диапазон измерения температуры: от (–20) до (+50)°С; погрешность измерения $\pm 0,2$ °С);
- рулетка измерительная Р5 УЗД (диапазон измерений от 0 до 3000 мм, цена деления 1 мм, 3-й класс точности);
- часы по ГОСТ 27752-88.

Вода и исследуемый препарат наносились на сформированную поверхность с помощью специализированного орошающего оборудования. Расход воды и готового препарата составил 1 л/м².

Операции засыпки угля и его обработки производились вне помещения, в котором проводились измерения. После этого модель нагруженного полувагона взвешивали и устанавливали в помещении для проведения испытаний согласно схеме на рисунке, герметизировали помещение. Взвешивание модели нагруженного полувагона проводили до и после каждого цикла испытаний.

Измерения массовых концентраций угольной пыли проводили в четыре этапа: при выключенном вентиляторе (скорость генерируемого воздушного потока 0 м/с – фоновая концентрация пыли, $C_{\text{ф}}$), при включенном вентиляторе – при скорости генерируемого воздушного потока 20 м/с (72 км/ч), 25 (90 км/ч) и 30 м/с (108 км/ч – перспективная скорость).

За результат измерений концентрации угольной пыли (мг/м³) принимают сумму средней концентрации (по каждому химическому веществу) и предела случайной погрешности измерений (ϵ) при уровне доверительной вероятности 0,95.

Расчет осуществляется по формуле:

$$C = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i + \epsilon, \quad (1)$$

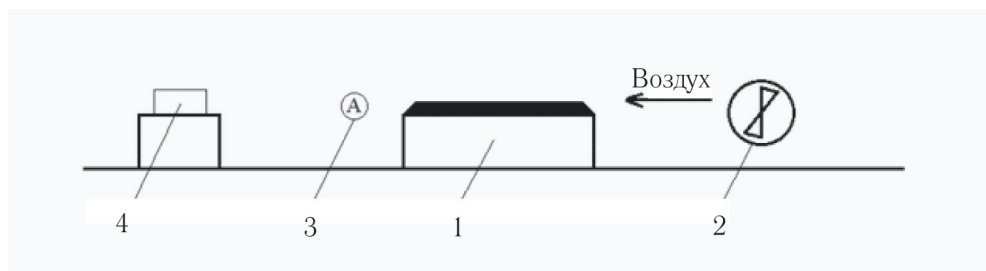


Рисунок. Схема установки для испытания защитного покрытия пылеподавителя АГЭ:
1 – модель нагруженного полувагона в масштабе 1:10; 2 – вентилятор осевой; 3 – анемометр;
4 – средства контроля основных показателей (ГАНК-4 и ПУ-4Э)

где C_i — измеренная концентрация пыли, $\text{мг}/\text{м}^3$.

Уровень загрязнения воздушной среды угольной пылью рассчитывают по формуле:

$$C_p = C_n - C_{\text{ф}}, \quad (2)$$

где C_p — расчетная концентрация пыли, $\text{мг}/\text{м}^3$;

C_n — концентрация пыли в помещении при включенном вентиляторе, $\text{мг}/\text{м}^3$;

$C_{\text{ф}}$ — фоновая концентрация пыли, $\text{мг}/\text{м}^3$.

Эффективность пылеподавляющего действия препарата (%) определяется по формуле:

$$E = \left(1 - \frac{C_{p2}}{C_{p1}} \right) 100\%, \quad (3)$$

где C_{p1} — расчетная концентрация пыли до нанесения пылеподавляющего агента, $\text{мг}/\text{м}^3$;

C_{p2} — расчетная концентрация пыли после нанесения пылеподавляющего агента, $\text{мг}/\text{м}^3$.

Интенсивность сдувания ($\text{г}/\text{м}^2$) определяется по разности массы модели нагруженного полувагона до и после воздействия воздушного потока:

$$\Psi = \frac{(M_1 - M_2)}{0,39}, \quad (4)$$

где M_1 — масса модели нагруженного полувагона до воздействия воздушного потока, г;

M_2 — масса модели нагруженного полувагона после воздействия воздушного потока, г;

0,39 — площадь поверхности обдува, м^2 .

Основные усредненные результаты опытов даны в табл. 2.

Основные усредненные результаты опытов представлены в табл. 3.

Эффективность пылеподавляющего действия препарата в исследуемых условиях составила 83% и более. Снижение эффективности пылеподавляющего действия препарата на 10 сутки проведения испытаний не отмечено.

Основные усредненные результаты опытов даны в табл. 4.

Интенсивность сдувания угольной пыли растет во времени для поверхностей угля, обработанных водой, и снижается для поверхностей, обработанных исследуемым препаратом. Общая потеря угля за счет применения пылеподавателя АГЭ снизилась в 11,5 раз в сравнении с необработанной поверхностью и в 10,3 раз — в сравнении с поверхностью, обработанной водой.

По результатам испытаний установлено, что пылеподаватель АГЭ предназначен для снижения пыления при транспортировке угля на железнодорожном транспорте и оказывает эффективное снижение загрязнения атмосферного воздуха угольной пылью. Эффективность пылеподавляющего действия препарата в исследуемых условиях составила 83% и более. Снижение эффективности пылеподавляющего действия препарата на 10 сутки проведения испытаний не отмечено. Также при применении препарата отмечено снижение интенсивности сдувания угольной пыли в сравнении с контрольным образцом. 

Литература

1. Атлас по медицинской микробиологии, вирусологии и иммунологии / Под ред. А.А. Воробьева, А.С. Быкова. — М.: Медицинское информационное агентство, 2003. — С. 70.
2. Критерии оценки патогенных свойств штаммов-продуцентов, предлагаемых для использования в промышленности микробиологического синтеза. Методические рекомендации. — М.: РГМУ. — 1992. — 23 с.
3. Краткий определитель бактерий Берги / [Р. Мюррей, С. Коуэн, Дж. Листон и др.]; Под ред. Дж. Хоулта. — М.: Мир. — 1980. — 495 с.
4. Справочник по микробиологическим и вирусологическим методам исследования / Под ред. М.О. Биргера. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Медицина. — 1982. — 464 с.
5. Борисов, Л.Б. Руководство к лабораторным занятиям по медицинской микробиологии, вирусологии и иммунологии: учебное пособие / Л.Б. Борисов, Б.Н. Козьмин-Соколов, И.Г. Фрейдлин. — М.: Медицина. — 1993. — 240 с.
6. Предельно допустимые концентрации (ПДК) микроорганизмов-продуцентов, бактериальных препаратов и их компонентов в атмосферном воздухе населенных мест. Гигиенические нормативы ГН 2.1.6.3537-18. — М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2018. — 16 с.

Таблица 2

Результаты определения массовых концентраций угольной пыли в воздухе

Поверхность угля	Время опыта, ч	Скорость воздуха, м/с	Концентрация пыли в помещении при включенном вентиляторе, мг/м ³	Фоновая концентрация пыли, мг/м ³	Расчетная концентрация пыли, мг/м ³
Открытая	1	20	10,539	0,010	10,529
		25	12,654		12,644
		30	13,597		13,587
	24	20	8,852	0,012	8,84
		25	9,112		9,1
		30	9,847		9,835
	72	20	8,756	0,011	8,745
		25	9,143		9,132
		30	9,254		9,243
	240	20	8,126	0,010	8,116
		25	8,141		8,131
		30	9,190		9,18
Вода	1	20	3,563	0,009	3,554
		25	3,893		3,884
		30	3,957		3,948
	24	20	6,724	0,009	6,715
		25	7,154		7,145
		30	7,238		7,229
	72	20	8,679	0,010	8,669
		25	8,758		8,748
		30	9,101		9,091
	240	20	8,012	0,010	8,002
		25	8,134		8,124
		30	9,101		9,091
Пылеподавитель АГЭ	1	20	1,559	0,011	1,548
		25	2,142		2,131
		30	2,306		2,295
	24	20	1,167	0,011	1,156
		25	1,254		1,243
		30	1,387		1,376
	72	20	1,22	0,012	1,208
		25	1,309		1,297
		30	1,302		1,29
	240	20	1,132	0,009	1,123
		25	1,213		1,204
		30	1,309		1,3

Таблица 3

Эффективность пылеподавляющего действия препарата в исследуемых условиях

Поверхность угля	Время опыта, ч	Скорость воздуха, м/с	Расчетная концентрация пыли до нанесения покрытия, мг/м ³	Расчетная концентрация пыли после нанесения покрытия, мг/м ³	Эффективность пылеподавляющего действия, %
Вода	1	20	10,529	3,554	66,25
		25	12,644	3,884	69,28
		30	13,587	3,948	70,94
	24	20	8,84	6,715	24,04
		25	9,1	7,145	21,48
		30	9,835	7,229	26,50
	72	20	8,745	8,669	0,87
		25	9,132	8,748	4,20
		30	9,243	9,091	1,64
	240	20	8,116	8,002	1,40
		25	8,131	8,124	0,09
		30	9,18	9,091	0,97
Пылеподавитель АГЭ	1	20	10,529	1,548	85,3
		25	12,644	2,131	83,15
		30	13,587	2,295	83,11
	24	20	8,84	1,156	86,92
		25	9,1	1,243	86,34
		30	9,835	1,376	86,01
	72	20	8,745	1,208	86,19
		25	9,132	1,297	85,80
		30	9,243	1,29	86,04
	240	20	8,116	1,123	86,16
		25	8,131	1,204	85,19
		30	9,180	1,3	85,84

Таблица 4

Результаты определения интенсивности сдувания угольной пыли

Поверхность угля	Время опыта, ч	Максимальная скорость воздуха, м/с	Масса угля в засыпке, кг		Интенсивность сдувания, г/м ²	Потери угля от начальной массы	
			До опыта	После опыта		кг	%
Открытая	1	30	22,5	21,45	2692	1,05	4,67
	24	30	21,45	20,73	1846	1,77	7,87
	72	30	20,73	20,11	1590	2,39	10,62
	240	30	20,11	19,67	1128	2,83	14,07
Вода	1	30	23,02	22,61	1051	0,41	1,78
	24	30	22,61	21,89	1846	1,13	4,91
	72	30	21,89	21,02	2231	2	8,69
	240	30	21,02	20,13	2282	2,89	12,55
Пылеподавитель АГЭ	1	30	22,9	22,73	436	0,17	0,74
	24	30	22,73	22,65	205	0,25	1,09
	72	30	22,65	22,63	51	0,27	1,18
	240	30	22,63	22,62	26	0,28	1,22

Уважаемые авторы!

Редакция журнала «Наука и техника транспорта» просит представлять оригиналы статей, оформленные в соответствии с нижеперечисленными требованиями:

1. Рекомендуемый объем: 5–10 стр.
2. Материалы представляют в бумажном и электронном вариантах на компакт-дисках, набранные в текстовых редакторах MS Word для Windows.
3. Файл — в формате DOC, DOCX или RTF.
4. Формат страницы — A4 (210x297 мм), при этом левое, верхнее и нижнее поля должны быть не менее 20 мм, а правое поле — не менее 10 мм, ориентация страниц книжная.
5. Шрифт Times New Roman (Сур), размер шрифта 14 pt, межстрочный интервал — полуторный, выравнивание текста по ширине, автоматический перенос, для разметки документа рекомендуется использовать стили текста (назначить нужные стили можно выбрав меню **Формат** → **Стиль...**). В тексте не должно быть двойных пробелов и двойных абзацев (пустых строк). Все необходимое форматирование (например, расстояние между разделами) можно задавать с помощью тех же стилей, просто установив для стиля заголовка отступы (отбивки) перед и после абзаца.
6. Латинские буквы и простые однострочные формулы вида $A_r = B^2 + CD^2$ набирают прямо в строке MS Word; для вставки одиночных специальных символов, таких как $\leq$, $\geq$, $\pm$, ∞ , $\cup$, $\cap$, $\rightarrow$ и другие, а также греческих букв используется команда меню **Вставка** → **Символ...** (используемый шрифт Symbol). Многострочные сложные формулы, формулы с дробями, корнями, матрицы, векторы, системы уравнений и прочие помещают в документ как объект Microsoft Equation или Math Type 5 (**Вставка** → **Объект...**). Не допускается делить одну формулу на несколько объектов или часть формулы набирать в строке, а часть ее помещать как объект.
7. Любые таблицы набирают непосредственно в MS Word (команда меню **Таблица** → **Добавить** → **Таблица...**), либо в тексте дают заголовок таблицы, а таблицу — отдельным файлом MS Excel. Не допускается набор таблиц в тексте с разделением пробелами или табуляцией и сеткой сделанной инструментами рисования, а также помещение в документ Word'a таблиц Excel.
8. Изображения принимаются в форматах:
 - для фото *.tif (без сжатия или LZW) или *.jpg (с максимальным качеством), в разрешении 300 dpi при печатном размере;
 - для рисунков, схем, графиков *.tif, *.jpg, *.bmp, *.gif, *.eps, MS Visio, Corel Draw, Adobe Illustrator (все надписи должны быть переведены в кривые).Каждое изображение должно быть представлено отдельным файлом. Если нет возможности качественно отрисовать или отсканировать имеющееся изображение, просьба предоставить оригинал (можно от руки).
9. Допускается включение в текст диаграмм, схем и графиков, в том числе выполненных средствами MS Word, при этом рисунок должен быть помещен в текст как объект.
10. К тексту статьи отдельным файлом прилагают аннотацию (4–7 строк), ключевые слова (5–8 слов) и указывают шифр научной специальности.
11. Необходимо представить следующую информацию об авторах:
 - фамилия, имя, отчество;
 - ученая степень, звание;
 - почетные звания, участие в академиях, сведения о наградах;
 - место работы (почтовый индекс, адрес, номера контактных телефонов);
 - должность;
 - область научных интересов (направление исследований);
 - общее количество научных работ;
 - количество монографий;
 - количество учебников;
 - количество патентов.
12. В отдельном файле в цифровом виде следует приложить качественные цветные фотографии авторов размером не менее 400x600 пикселей (см. требования к предоставляемым фото) или, при отсутствии цифровых, фотоснимки на глянцевой бумаге.
13. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Уважаемые читатели!

Редакция с благодарностью примет предложения по повышению эффективности работы журнала и по улучшению его дизайна.