

# НАУКА И ТЕХНИКА ТРАНСПОРТА



ISSN 2074-0040



Traction power 9600 kW

Б

Перезья  
Локомотивная  
Компания

23В120-002

Транспорт

Информатика, вычислительная техника и управление

Безопасность деятельности человека

# 2021 1

## 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:

125190, г. Москва, ул. Часовая, д. 22/2  
Тел.: (495) 649-19-00 доб. 385.  
125190, Chasovaya Str., 22/2, Russia, Moscow  
Tel.: (495) 649-19-00 ext: 385. Fax: (499) 151-18-37

E-mail: [nttmag@rgotups.ru](mailto: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. Используются фотоматериалы из открытых источников.

Отпечатано РОАТ РУТ (МИИТ):  
125190, Москва, Часовая ул., 22/2

Подписано в печать 18.03.2021.

Усл. печ. л. 13,25  
Формат 60×90<sup>1/8</sup>.

Тираж 60 экз.  
Тип. зак. 159

© 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. Тихонычев

### Английский перевод

М.Л. Окулова

# 1' 2021

## Транспорт



**А.В. Костин, Г.М. Стоякин**

Перспективы применения альтернативных источников энергии для улучшения показателей установок кондиционирования воздуха пассажирского подвижного состава

**8**



**В.А. Бугреев, С.А. Моренко, К.С. Моренко**

Эффективность работы разнородной трехагрегатной ветроэлектрической установки

**13**



**А.Я. Бутыркин, Е.Б. Куликова, О.Н. Мадяр**

Модели прогнозирования пассажирских перевозок на железнодорожном и авиационном транспорте

**19**



**А.А. Шатохин, Г.М. Биленко, И.В. Симачкова, А.В. Буракова, Е.С. Власова**

Предпосылки и концепция перехода к оперативному управлению порожними вагонопотоками в рыночных условиях

**28**



**Д.Г. Евсеев, Р.С. Селезнев**

Универсализация специализированного подвижного состава на примере платформ-трубовозов

**35**



**А.В. Людаговский, В.А. Полухин**

Объемная интерпретация схемы расчета тепловых полей по эквивалентной пластине при наплавке шейки оси колесной пары

**40**



**И.К. Сергеев, С.В. Беспалько**

Обзор исследований и программных комплексов для решения задач динамики подвижного состава

**45**



**А.Ф. Слутин, Л.Г. Ручкина, В.А. Бугреев**

Моделирование режимов движения и сравнительная оценка топливно-энергетической эффективности гибридного электробуса

**51**

## Информатика, вычислительная техника и управление



**И.А. Журавлев, Е.А. Журавлева**

Применение интеллектуальной системы поддержки принятия решений в организации договорной и претензионной работы компании

**57**



**Е.М. Лыткина, С.Н. Ефимов, В.А. Терсков, К.В. Ярков**

Метод учета ограничений при оптимизации архитектуры аппаратно-программного комплекса системы управления реального времени

**63**

## Безопасность деятельности человека



**О.С. Локтева, А.А. Локтев, А.М. Завьялов, А.В. Семочкин**

Анализ направлений развития системы управления охраной труда на транспорте

**68**



**В.А. Аксёнов, В.Е. Бурак, Е.А. Сорокина**

Углекислый газ в воздухе рабочей зоны транспортных систем городских агломераций

**73**



**В.В. Самойлов, О.С. Сачкова, В.И. Апатцев**

Пути улучшения условий труда работников, связанных с перевозкой сыпучих грузов

**78**



**О.В. Воронов, В.В. Быкадоров, Л.И. Тищук, Е.И. Иванова**

К вопросу применения моделей пограничного слоя атмосферы для расчета загрязняющих примесей от разнообразных источников

**82**



**В.П. Сычев, А.В. Сычева, П.Ф. Бестемьянов, В.Н. Филиппов**

Оценка зависимости рисков и уровня травматизма от периодичности контроля состояния железнодорожного пути

**88**

# СОДЕРЖАНИЕ



**А.И. Шевченко, В.В. Денисов**

Анализ и оценка состояния пожарной безопасности на объектах ОАО «Российские железные дороги» по итогам 2019 года

**94**



**Е.А. Трифонова, Б.Н. Рахманов, В.Н. Филиппов**

Условия труда работников службы исполнения наказаний и возможности их улучшения

**103**

## Transport

### **A.V. Kostin, G.M. Stoyakin**

Prospects for alternative energy source use to improve indications of air conditioning installations for passenger rolling stock. . . . . **8**

The article considers the research results of the carriage microclimate system in the cold period of the year, the air conditioner of the carriage climatic installation works in the thermal pump mode for the ventilation air heating. The air removed from the passenger car is used as the low-temperature heat source.

*Key words:* ventilation air, microclimate, passenger car, recirculation, thermal pump

### **V.A. Bugreev, S.A. Morenko, K.S. Morenko**

Operation efficiency of dissimilar three-modular wind power installation. . . . . **13**

The authors compared the operation efficiency of the three-modular system and the mono-modular system in the whole range of wind speeds. The research proved that in certain periods the multi-modular installation had higher efficiency than each of the wind wheels separately.

*Key words:* small wind power installation, mono-modular wind power installation, wind power

### **A.Ya. Butyrkin, E.B. Kulikova, O.N. Madyar**

Prediction models of rail and air passenger transportation. . . . . **19**

The prediction problem of passenger traffic is traditionally relevant for any mode of transport. The authors analyzed the main prediction models of rail and air passenger transportation. The paper summarizes the different approaches and carries out the assessment of the error and the usability conditions of different models.

*Key words:* prediction, mathematical modelling, passenger traffic, railway transport

### **A.A. Shatokhin, G.M. Bilenko, I.V. Simachkova, A.V. Burakova, E.S. Vlasova**

Prerequisites and concept of switchover to operational control of unladen freight car traffic in market conditions . . . . . **28**

The article focuses on the problems of unladen freight car traffic organization from the car receiving for transportation to its completion. The authors propose a new approach of unladen freight car traffic control in cooperation with the rolling stock operators, it reducing the company's costs for the unladen freight car traffic operation and improving the use of rolling stock owned by operator companies.

*Key words:* freight cars, operational indicator improvement, demurrage reduction, operator service market

### **D.G. Evseev, R.S. Seleznev**

Universalization of specialized rolling stock on the example of pipe-carrier platforms . . . . . **35**

The article examines the advantages and disadvantages of using specialized and universal rolling stock, the classification of goods for railway transportation, as well as the rational use of specialized cars on the example of pipe-carrier platforms that increase the economic benefit from their use.

*Key words:* universal rolling stock, specialized rolling stock, pipe carriers, platform, pipe-carrier platform

### **A.V. Lyudagovsky, V.A. Polukhin**

Three-dimensional interpretation of thermal field calculation scheme for equivalent plate during overlaying of wheelset axle journal. . . . . **40**

The authors studied a three-dimensional image of correspondence of the selected decomposition scheme of the specified solid cylinder into the equivalent plate. Temperature fields formed from the action of a moving point heat source on the surface of a given solid cylinder along a helical line of a given pitch and an equivalent plate are calculated depending on the depth of the layer under study.

*Key words:* electromagnetic overlaying, temperature, equivalent plate, heat source

**I.K. Sergeev, S.V. Bespal'ko**  
Review of research and software for solving problems of rolling stock dynamics . . . . . **45**

The article considers the trends in the development of railway car dynamics. The main research schools of this branch of science are described. The paper presents an overview of the software used to solve dynamics problems. The authors summarize the approaches to computer simulation implementation.

*Key words:* car dynamics, mathematical modelling, computer simulation, software package

**A.F. Slutin, L.G. Ruchkina, V.A. Bugreev**  
Simulation of driving modes and comparative assessment of fuel-energy efficiency  
of hybrid electric bus . . . . . **51**

The article presents the results of numerical simulation of traction and energy modes of hybrid electric bus movement based on the developed mathematical model and software. The authors propose the calculation methods and comparative technical and economic analysis in terms of operating costs for energy carriers and power supply systems for three types of modern ground public transport.

*Key words:* hybrid electric bus, battery-electric bus, trolleybus, diesel engine, brake current recovery

## Computer science and control

**I.A. Zhuravlev, E.A. Zhuravleva**  
Application of intelligent decision support system in organization of company's contractual  
and claim work. . . . . **57**

The article proposes an approach to the development of a decision support system (DSS) for the contractual and claim work of the enterprise. The authors present the structure with knowledge research domain particulars and the scheme at the base intelligent data analysis of the DSS of the company's contractual and claim work.

*Key words:* decision support system, semantic space of contract descriptors, knowledge model

**E.M. Lytkina, S.N. Efimov, V.A. Terskov, K.V. Yarkov**  
Constraint record method for real-time operating system hardware and software  
architecture optimization. . . . . **63**

The article proposes the constraint record method for real-time operating system hardware and software architecture optimization using genetic algorithms. The optimization of hardware and software architecture is carried out taking into account reliability and cost criteria.

*Key words:* automated system of operational control of transportation, hardware and software complex

## Safety of human activity

**O.S. Lokteva, A.A. Loktev, A.M. Zavyalov, A.V. Semochkin**  
Analysis of development directions of labour protection control system in transport . . . . . **68**

The article presents an analysis of the reference promising directions for the development of the labour safety control system in transport, taking into account the introduction of the concept of zero injuries.

*Key words:* safe working conditions, zero injuries, accident causes, regression relationship

**V.A. Aksyonov, V.E. Burak, E.A. Sorokina**  
Carbon dioxide in working zone air of transport systems of urban agglomerations . . . . . **73**

The combined effects of chemicals in the toxic emissions of different modes of transport in agglomerations can be taken into account during the special assessment of working conditions and industrial control by introducing an increasing coefficient into the calculation part of the measurement protocols.

*Key words:* carbon dioxide, atmospheric air, working zone air, hygienic rationing, combined effect

- V.V. Samoylov, O.S. Sachkova, V.I. Apattsev**  
Ways to improve the labour conditions of workers involved in bulk cargo transportation. . . . . **78**  
The article focuses on the labour conditions of workers involved in bulk cargo transportation and ways of working condition improvement.  
*Key words:* loading and unloading, labour protection, bulk cargoes, freight transportation, occupational diseases
- O.V. Voronov, V.V. Bykadorov, L.I. Tishchuk, E.I. Ivanova**  
To the question of application of atmospheric boundary layer models for the calculation of contaminants from various sources. . . . . **82**  
The article presents the analysis of calculation regularities of contaminant dispersion in the atmospheric boundary layer taking into account peculiarities of their spatiotemporal distribution and the physical and mathematical modelling of contaminant diffusion processes of anthropogenic origin.  
*Key words:* atmospheric boundary layer, metrological (aerological) measurements or metrological forecast
- V.P. Sychev, A.V. Sycheva, P.F. Bestemyanov, V.N. Filippov**  
Assessment of dependence of risks and injury level on periodicity of condition monitoring of railway track . . . . . **88**  
The article analyzes the normative documents of JSC «Russian Railways» for the impact of the railway track monitoring periodicity on the risk assessment and the level of injuries.  
*Key words:* risks, injuries, control, railway track, track gauge car, deviations from norms
- A.I. Shevchenko, V.V. Denisov**  
Analysis and assessment of fire safety at the facilities of JSC «Russian Railways» at year-end 2019 . . . . . **94**  
The article contains the analysis and assessment of fire safety with the risk management techniques at the facilities of JSC «Russian Railways» at year-end 2019.  
*Key words:* transportation process, fire safety, fire-prevention regime, risks of emergencies
- E.A. Trifonova, B.N. Rakhmanov, V.N. Filippov**  
Working conditions of penitentiary service employees and opportunities for condition improvement . . . . . **103**  
The article analyzes the working conditions of penitentiary service employees, the general description of working conditions and the components of the labour process. To improve the working conditions of penitentiary service employees the authors propose to reduce physical, emotional and mental stress, as well as to limit the effect of harmful factors by developing and implementing a new special passenger car.  
*Key words:* employees, penitentiary service, harmful factors, working conditions, labour process

# ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УСТАНОВОК КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА ПАССАЖИРСКОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА



А.В. Костин



Г.М. Стоякин

Рассмотрены результаты исследования системы поддержания микроклимата в пассажирских вагонах в холодный период года при переводе работы кондиционера климатической установки вагона в режим теплового насоса для нагревания вентиляционного воздуха. В качестве низкотемпературного источника теплоты при этом принимается воздух, удаляемый из вагона.

*Ключевые слова:* вентиляционный воздух, микроклимат, пассажирский вагон, рециркуляция, тепловой насос

Для обеспечения безопасных параметров воздушной среды, в салонах и помещениях пассажирских вагонов, соответствующих классу качества воздуха IDA 2 в зимнее время года целесообразно увеличение притока наружного воздуха до  $35 \text{ м}^3/\text{ч}$  на человека по сравнению с регламентируемыми в настоящее время  $20 \text{ м}^3/\text{ч}$  [1;2]. Затраты энергии на подготовку этого воздуха должны быть минимизированы.

Одним из вариантов решения этой задачи для систем поддержания микроклимата в пассажирских вагонах в холодный период года является перевод работы кондиционера климатической установки в режим теплового насоса для нагревания вентиляционного воздуха [1;3]. В качестве низкотемпературного источника теплоты при этом принимается воздух, удаляемый из вагона. Предлагаемая схема работы кондиционера с рекуперацией теплоты удаляемого

воздуха дает возможность использования приточной вентиляции в режиме системы воздушного отопления, а также снизить количество нежелательного с точки зрения санитарно-экологических требований рециркуляционного воздуха, поступающего в вагон, до 30% и менее, вплоть до полного отказа от рециркуляции.

Оценим соответствие предлагаемой схемы гигиеническим требованиям, предусматривающим наиболее благоприятные соотношения температуры, влажности и подвижности воздуха в вагоне и сравним ее энергетическую эффективность с системами отопления с прямым электрическим нагревом в электрокалориферах и теплонасосным отоплением по известной схеме с использованием в качестве низкопотенциального источника теплоты наружного воздуха [4].

Исходные данные для сравнения принимались в соответствии с требованиями Санитарных правил по организации пассажирских перевозок на железно-

**Костин Александр Владимирович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика железнодорожного транспорта» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: применение теории тепло- и массообмена для расчета и проектирования теплотехнологических установок и систем железнодорожного транспорта и промышленности. Автор 51 научной работы, в том числе девяти учебных пособий. Имеет восемь патентов на изобретения.

**Стоякин Григорий Михайлович**, главный специалист по отоплению, вентиляции и кондиционированию воздуха ООО «Проектное Бюро АПЕКС». Область научных интересов: применение теории тепло- и массообмена для расчета и проектирования теплотехнологических установок и систем железнодорожного транспорта и промышленности. Автор девяти научных работ.

дорожном транспорте [5–6], в соответствии с которыми относительная влажность воздуха в помещениях вагона в зимнее время должна находиться в интервале 15–75%, температура воздуха составлять  $22 \pm 2^\circ\text{C}$ , подвижность воздуха – 0,2 м/с. Также учтены рекомендации для применения теплонасосного отопления в пассажирских вагонах [4].

Сравнение производилось при следующих условиях: температура наружного воздуха  $t_n = -15^\circ\text{C}$ , его относительная влажность  $\phi_n = 20\%$ , температура воздуха в вагоне  $t_v = +20^\circ\text{C}$ , его относительная влажность  $\phi_v = 50\%$ , температура приточного воздуха  $t_{п} = +25^\circ\text{C}$ , количество пассажиров  $n = 54$ . Хладагент R22. Мощность компрессора холодильной установки в режиме отопления  $N_k = 12$  кВт.

На рис. 1 представлен цикл рассматриваемого теплового насоса в  $P$ – $h$  координатах.

В результате подвода теплоты от низкотемпературного источника теплоты (наружного воздуха или воздуха, удаляемого из вагона) хладагент кипит в испарителе при давлении  $P_0$  и температуре  $T_0$  (процесс 4–1). Пар, полученный в испарителе, поступает в фильтр осушитель, где он осушается, а затем засасывается компрессором. В компрессоре давление пара поднимается до  $P_k$ , его температура при этом повышается до  $T_k$  (процесс 1–2').

Из-за трения и необратимого теплообмена действительный процесс сжатия в компрессоре (1–2) не совпадает с теоретическим изоэнтальпным сжатием (процесс 1–2').

Из компрессора пар поступает в конденсатор, где в результате отвода теплоты  $q_k$  к теплоприемнику происходит охлаждение пара (процесс 2–2'') и его конденсация (процесс 2''–3). Жидкий хладагент при давлении  $P_k$  и температуре  $T_k$  проходит через дрос-

сельный вентиль, где в результате дросселирования (процесс 3–4) давление хладагента падает с  $P_k$  до  $P_0$ , его температура снижается до  $T_0$ . При этом происходит частичное вскипание хладагента, который далее поступает в отделитель жидкости, в котором производится отделение жидкой фазы от паровой. Пар отводится непосредственно во всасывающий патрубок компрессора, а жидкий хладагент в состоянии точки 5 поступает в испаритель и цикл повторяется.

Расчеты теплопроизводительности климатической установки в теплонасосном режиме производились на установившийся режим работы, т.е. при постоянной температуре источников теплоты и неизменном расходе выбранного хладагента. Основные параметры цикла – давление кипения (парообразования) и конденсации хладагента  $P_0$  и  $P_k$  принимались для заданной температуры испарения  $T_0$  (температура в холодильной камере) и температуры конденсации  $T_k$  (температура окружающей среды) по таблицам или диаграммам с учетом особенности теплообмена у внешних источников теплоты. Так как нагреваемой средой в конденсаторе и охлаждаемой средой в испарителе являлся воздух, то разность температур в процессе теплообмена  $\Delta T_k$  и  $\Delta T_0$  принималась равной  $10^\circ\text{C}$ .

Удельная массовая холодопроизводительность машины (холодильная нагрузка на испаритель), кДж/кг,

$$q_0 = h_1 - h_4,$$

где  $h_1$  и  $h_4$  – энтальпия рабочего тела в соответствующих точках цикла.

Теоретическая удельная работа компрессора, приходящаяся на единицу массы (расхода) рабочего тела,

$$l_T = h_2' - h_1.$$

С учетом КПД компрессора  $\eta_{кр} = 0,8$  действительная удельная работа компрессора

$$l_D = \frac{l_T}{\eta_{кр}} = h_2 - h_1.$$

Энтальпия хладагента на выходе из компрессора

$$h_2 = h_1 + l_D.$$

Степень повышения давления рабочего тела в компрессоре, определяющая его тип и конструкцию

$$\beta_k = \frac{P_k}{P_0}.$$

Количество теплоты, отводимой от рабочего тела в конденсаторе (тепловая нагрузка на конденсатор),

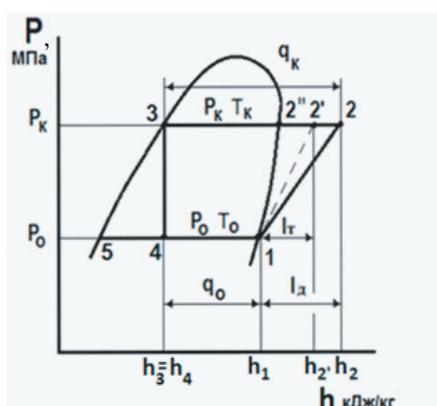


Рис. 1. Цикл теплового насоса в  $P$ – $h$  координатах

$$q_k = (h_2 - h_3).$$

Холодильный коэффициент термодинамического цикла

$$\varepsilon = \frac{q_0}{l_d} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}.$$

Коэффициент трансформации теплоты

$$\varphi_T = \frac{q_k}{l_d} = \varepsilon + 1.$$

С учетом влияния необратимых потерь цикла на эффективность холодильной машины, оцениваемых коэффициентом необратимости  $\eta_n = 0,65$ , действительный коэффициент трансформации теплоты

$$\varphi = \varphi_T \eta_n.$$

Удельный расход электроэнергии на единицу полученной теплоты

$$\mathfrak{E}_{эл} = \frac{1}{\varphi}.$$

На рис. 2 приведена зависимость удельного расхода электроэнергии при теплонасосном отоплении от температуры наружного воздуха.

Количество теплоты, отводимой от хладагента в конденсаторе (тепловая нагрузка на конденсатор),

$$Q_k = \varphi N_k.$$

Оценим минимальный расход воздуха подаваемого в вагон. Исходя из расхода воздуха на одного чело-

века  $35 \text{ м}^3/\text{ч}$ , расход наружного вентиляционного воздуха,  $\text{м}^3/\text{ч}$

$$V_b = 35n.$$

В соответствии с [5] рециркуляционного воздуха в вагон должно подаваться не более 70%. Следовательно

$$V_{рец} = V_b 0,7.$$

Общее количество воздуха подаваемого в вагон,  $\text{м}^3/\text{ч}$ , составляет

$$V = V_b + V_{рец}.$$

Необходимый тепловой поток для нагрева вентиляционного воздуха от  $t_n$  до  $t_{пн}$ , кВт,

$$Q_{тр} = \frac{V c_p \rho (t_{пн} - t_n)}{3600},$$

где  $c_p$  – массовая удельная изобарная теплоемкость воздуха,  $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ;  $\rho$  – плотность воздуха,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Теплота, отводимая от рабочего тела в конденсаторе (тепловая нагрузка на конденсатор), кВт,

$$Q_k = \frac{N_k}{\mathfrak{E}_{тн}}.$$

Результаты расчета различных схем нагрева воздуха приведены в таблице.

Результаты расчета показывают, что для предлагаемой схемы теплоты, отводимой от конденсатора теплового насоса, хватает для нагрева наружного воздуха поступающего в вагон до требуемой темпе-

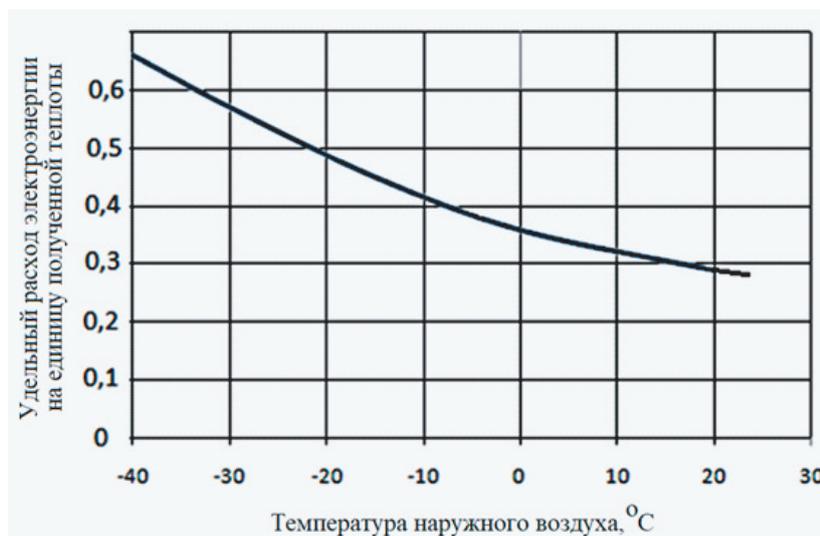


Рис. 2. Зависимость удельного расхода электроэнергии от температуры наружного воздуха

Таблица

**Результаты расчета различных схем нагрева воздуха**

Показатели	Теплонасосное отопление с рекуперацией теплоты воздуха удаляемого из вагона	Теплонасосное отопление с отбором теплоты от наружного воздуха	Прямой электрический нагрев воздуха в калорифере (без рециркуляции воздуха / с рециркуляцией воздуха)
Расход наружного воздуха, подаваемого в вагон $V_B$ , кг/с	0,61	0,61	0,61
Допустимый по Санитарным правилам расход рециркуляционного воздуха $V_{рец}$ , кг/с	—	0,43	—/0,43
Полный расход воздуха подаваемого в вагон $V_B$ , кг/с	0,61	1,04	0,61/1,04
Удельный расход электроэнергии на единицу полученной теплоты $\Xi_{эл}$	0,285	0,45	1
Требуемый тепловой поток $Q_{тр}$ , кВт	41,81	30,83	41,81/30,83
Тепловая нагрузка на конденсатор $Q_k$ , кВт	42,11	26,67	—
Расход электроэнергии на обработку воздуха, подаваемого в вагон, кВт	12	12	41,81/30,83

ратуры,  $Q_k > Q_{тр}$ . При этом не требуется рециркуляция воздуха. Затраты электроэнергии на обработку воздуха соответствуют мощности компрессора холодильной установки в отопительном режиме, в нашем случае  $N_k = 12$  кВт. Тепловая мощность подаваемого в вагон перегретого на  $5^\circ\text{C}$  воздуха ( $t_n - t_b$ ) идет на компенсацию тепловых потерь в вагоне.

При нагреве воздуха электрическими калориферами до требуемой температуры необходимо затратить значительно больше электроэнергии.

Для схемы теплонасосного отопления с отбором теплоты от наружного воздуха теплоты, подводимой к воздуху, подаваемому в вагон, не хватает для его нагрева до требуемой температуры  $Q_k < Q_{тр}$ , и для достижения требуемых климатических параметров в вагоне потребуется нежелательное увеличение потока рециркуляционного воздуха или дополнительное включение электрических калориферов.

Следует отметить, что при рекуперации теплоты воздуха, удаляемого из вагона, степень повышения давления в компрессоре холодильной установки для отопительного режима ( $\beta_k = 1,99$ ) не превышает ее значения при работе компрессора в холодильном

режиме ( $\beta_k = 2,5 - 3,5$ ). При использовании в качестве низкотемпературного источника теплоты наружного воздуха в отопительном режиме,  $\beta_k$  значительно увеличивается (для рассматриваемых условий  $\beta_k = 6,74$ ), что снижает общую эффективность работы компрессора и всей климатической установки.

Изменение параметров воздуха при предлагаемой схеме требует оценки равномерности распределения температуры воздуха по объему вагона. С этой целью проведено CFD-моделирование одной секции вагона. Результаты моделирования представлены на рис. 3.

Из рис. 3 видно достаточно равномерное распределение температур по объему вагона. Хотя в верхней зоне (на уровне багажных полок) наблюдается зона немного повышенных температур, а под нижними местами — зона немного пониженных температур.

### Выводы

Проведенные исследования показывают высокую эффективность предлагаемой схемы поддержания микроклимата в пассажирских вагонах в холодный период года при увеличении притока наружного воздуха до  $35 \text{ м}^3/\text{ч}$  на человека по сравнению с регла-

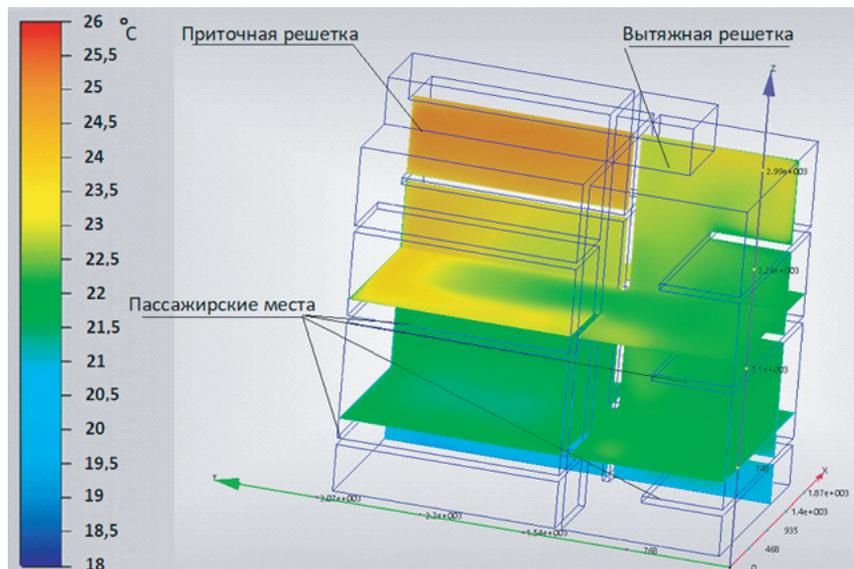


Рис. 3. Результаты моделирования распределения температур при подаче перегретого воздуха в вагон

ментуруемым в настоящее время  $20 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Применение в установке кондиционирования воздуха вагона теплонасосной рекуперации теплоты вытяжного воздуха дает возможность без увеличения массы и габаритов оборудования данной установки и подвода значительного количества дополнительной электроэнергии обеспечить подогрев поступающего в вагон свежего наружного воздуха, с соблюдением комфортного распределения температур по объему вагона при существующей схеме подачи и удаления воздуха. 

## Литература

1. Стоякин, Г.М. Пути улучшения характеристик климатических систем пассажирского подвижного состава / Г.М. Стоякин, А.В. Костин, С.Н. Науменко // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2020. – Т. 79, № 1. – С. 34–38.
2. Стоякин, Г.М. Повышение эффективности установки кондиционирования воздуха для подвижного состава за счёт применения рекуператора теплоты вытяжного воздуха на базе теплового насоса / Г.М. Стоякин, А.В. Костин // Наука России: Цели и задачи. Сборник науч. трудов по материалам XIV международной научно-практической конференции. Ч. 3 Изд. НИЦ «Л-Журнал», 2019. – 92 с.
3. Стоякин, Г.М. Пути улучшения воздушной среды в пассажирских вагонах / Г.М. Стоякин, А.В. Костин // Вопросы технических наук в свете современных исследований: Сб. ст. по материалам II-III международной научно-практической конференции. № 2–3 (2). Новосибирск: Изд. АНС «СибАК», 2017. – С. 5–12.
4. Жариков, В.А. Климатические системы пассажирских вагонов / В.А. Жариков. – Москва: Трансинфо, 2006. – 134 с.
5. СП 2.5.1198–03. Санитарные правила по организации пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте [Электронный ресурс]: утв. главным государственным санитарным врачом РФ от 3 марта 2003 года; дата введения 3 июня 2003 года; зарегистрировано в Минюсте РФ 1 апр. 2003 г., регистрац. № 4348; (с изменениями на 10 июня 2016 г.). URL: <http://doc.rzd.ru>. (дата обращения: 28.04.2020).
6. СП 2.5.2647–10. Санитарные правила по организации пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте. Изменения и дополнения № 2 к СП 2.5.1198–03 [Электронный ресурс]: утв. постановлением главного государственного санитарного врача РФ от 16 июня 2010 г. № 68; дата введения 12 июля 2010 г.; зарегистрировано в Минюсте РФ 7 июля 2010 г., регистрац. № 17750. URL: <https://rg.ru/2010/07/16/sanpraviladok.html> (дата обращения: 28.04.2020).

# ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ РАЗНОРОДНОЙ ТРЕХАГРЕГАТНОЙ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Дано сравнение эффективности работы трехагрегатной системы с моноагрегатной во всем диапазоне скоростей ветра. Доказано, что в определенных периодах многоагрегатная установка имеет более высокую эффективность, чем каждое из ветроколес в отдельности.



**В.А. Бугреев**



**С.А. Моренко**

*Ключевые слова:* малая ветроэлектрическая установка, моноагрегатная ветроэлектрическая установка, ветроэнергетика

**В**озобновляемая энергетика является бурно развивающейся отраслью [1]. Вместе с этим внимание практически не уделяется секции малых ветроэлектрических установок, хотя их перспективы для повышения электровооруженности труда и обеспечения небольших объектов весьма обширны.

Моноагрегатная ветроэлектрическая установка (рис. 1) — ветроэлектрическая установка, имеющая один электрический генератор и одно ветроколесо, связанное с ним напрямую или через механические преобразователи (мультипликаторы).

Многоагрегатная ветроэлектрическая установка (рис. 2) — ветроэлектрическая установка, имеющая один электрический генератор и более одного ветроколеса, связанного с ним напрямую или через механические преобразователи.

Отличие многоагрегатной установки от моноагрегатной в том, что первая имеет несколько устройств для преобразования поступательной энергии ветра в механическую. При этом оба типа установок имеют только один преобразователь механической энергии в электрическую — генератор.

Многоагрегатные ветроэлектрические установки практически не исследуются в настоящее время. Крупные ветроэлектрические установки как правило трехлопастные. Различные варианты реализаций таких установок уже изучены. В настоящее время исследуются возможности точечного улучшения отдельных элементов этих установок.

Можно представить многоагрегатную ветроэлектрическую установку как станцию. В отличие от традиционного представления о ветроэлектрической

**Бугреев Виктор Алексеевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электрификация и электроснабжение» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: надежность сложных технических систем. Автор более 70 научных работ, в том числе трех монографий. Имеет 16 патентов на изобретения.

**Моренко Сергей Алексеевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрификация и электроснабжение» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: системы энергетики. Автор 23 научных работ, в том числе одной монографии. Имеет три патента на изобретение.

**Моренко Константин Сергеевич**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального научного агроинженерного центра ВИМ. Область научных интересов: возобновляемая энергетика. Автор 38 научных работ, в том числе одной монографии. Имеет два патента на изобретение.

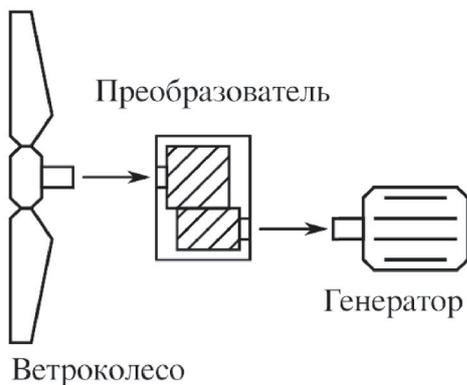


Рис. 1. Потoki энергии в моноагрегатной ветроэлектрической установке

станции как наборе однородных установок, разнородная многоагрегатная ветроэлектрическая установка содержит разные типы ветроколес. Это ключевое отличие изменяет энергетическую характеристику станции или установки как целого.

Общая эффективность установки складывается из нескольких частей

$$\eta_{\text{уст}}(v) = \eta_{\text{кол}}(v) \eta_{\text{пр}}(n) \eta_{\text{ген}}(n), \quad (1)$$

где  $\eta_{\text{кол}}(v)$  — эффективность ветроколеса в зависимости от скорости ветра;

$\eta_{\text{пр}}(n)$  — эффективность преобразователя в зависимости от частоты вращения вала ветроколеса;

$\eta_{\text{ген}}(n)$  — эффективность генератора в зависимости от частоты вращения вала.

При сравнении моноагрегатных и многоагрегатных установок возникают вопросы: как соотносятся энергетические характеристики разнородной многоагрегатной ветроэлектрической установки и моноагрегатной ветроэлектрической установки соизмеримых параметров? Есть ли преимущества у разнородной установки и при каких внешних условиях они наблюдаются?

### Цель исследования

Сравнить эффективность работы трехагрегатной системы с моноагрегатной во всем диапазоне скоростей ветра.

### Материалы и методы

В первую очередь нужно определить понятие эффективности. В разных трудах [2] эффективность рассматривается с разных сторон. Эффективность

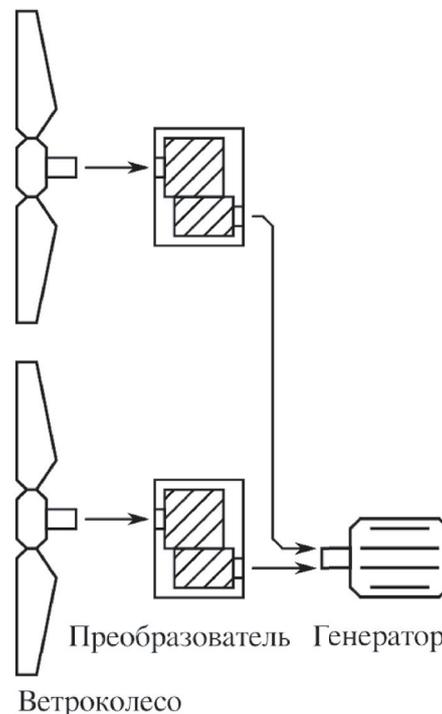


Рис. 2. Потoki энергии в многоагрегатной ветроэлектрической установке

должна представлять собой относительный показатель, поскольку иначе сравнение даже незначительно отличающихся друг от друга установок станет искаженным их различиями. Эффективность чаще всего представляет собой отношение значимого показателя результатов работы к базовому показателю.

Значимым показателем результатов выступает чаще всего натуральное или стоимостное выражение основного продукта. В случае с ветроустановкой основным продуктом является электрическая энергия, а значимым показателем — количество электрической энергии за год. В качестве периода выбран год, поскольку это наименьший интервал, за который ветер имеет устойчивую повторяемость.

Список базовых показателей значительно шире [3;4]: стоимость установки, материалоемкость (вес), эксплуатационные затраты, даже энергетические затраты на производство [5]. Стоимость установки должна быть распределена на весь срок эксплуатации, поэтому в качестве базового показателя для годового расчета используют годовую амортизацию.

Экономическая эффективность является важным показателем при организации производства, но тре-

бует большого количества дополнительных расчетов. В инженерной практике чаще оперируют теоретически достижимыми результатами, в нашем случае это полный потенциал энергии ветра. Необходимый нам показатель эффективности — отношение энергии, полученной от ветроустановки, к полной энергии ветрового потока, который прошел через ветроколесо. Тогда показатель эффективности можно выразить формулой

$$k = \frac{W_{\text{уст}}}{W_{\text{ветра}}}, \quad (2)$$

где  $W_{\text{уст}}$  — энергия, вырабатываемая установкой за год, Вт · ч;

$W_{\text{ветра}}$  — энергия ветра, проходящего через ометаемую ветроустановкой площадь, Вт · ч.

Ветроустановка работает не в абстрактном диапазоне ветров, а в конкретном регионе, поэтому распределение скоростей ветра оказывает прямое влияние на количество вырабатываемой электрической энергии. Используем средние скорости ветра от 2 до 6 м/с с шагом в 1 м/с. Эти скорости ветра покрывают весь диапазон средних скоростей ветра на территории России. Используется распределение Рэлея для скоростей ветра [6], когда вероятность каждой скорости ветра задается уравнением

$$p(v, \sigma) = \frac{v}{\sigma^2} e^{-\frac{v^2}{2\sigma^2}}, \quad (3)$$

где  $v$  — рассчитываемая скорость ветра, м/с;

$\sigma$  — параметр, равный:

$$\sigma = \sqrt{\frac{2}{\pi}} v_{\text{сред}}, \quad (4)$$

где  $v_{\text{сред}}$  — средняя скорость ветра, м/с.

Количество часов для каждой скорости ветра определяется тривиально

$$T(v, v_{\text{сред}}) = T \cdot p(v, v_{\text{сред}}), \quad (5)$$

где  $T$  — количество часов в рассматриваемом периоде, ч.

Мощность ветрового потока для каждой скорости ветра

$$P(v) = \frac{\rho v^3}{2}, \quad (6)$$

где  $\rho$  — плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

Тогда количество энергии, переносимое ветром на каждой скорости ветра, составит

$$W(v, v_{\text{сред}}) = P(v)T(v, v_{\text{сред}}). \quad (7)$$

Моделирование ветроколеса изучается давно. Разработаны как достаточно простые модели, описы-

вающие только общие закономерности, так и довольно сложные модели, учитывающие множество факторов [7–10]. Общей проблемой сложных моделей является требование множества параметров. Многие параметры трудно получить. Они являются индивидуальными характеристиками конкретных типов и, что самое важное, размеров ветроколес. Этот факт делает их непереносимыми даже между однотипными ветроколесами. В нашем случае более важно установить общую закономерность между моноагрегатной и многоагрегатной установкой. Детальное повышение эффективности будет проводиться с помощью других более подробных исследований.

В качестве ветроколес для обоих видов установок по ряду причин используются нерегулируемые ветроколеса подъемного типа. Ветроколеса подъемного типа обладают самой высокой эффективностью среди всех существующих ветроколес [11;12]. Есть предложения ряда изобретателей [13;14], но эффективность этих ветроколес недостаточно широко изучена. Регулирование ветроколес не рассматривается из-за высокой стоимости и неэффективности регулятора для ветроколес мощностью менее 10 кВт.

Моделирование характеристики ветроколеса сводится к представлению ее в виде треугольной характеристики (рис. 3). Это позволяет упростить модель для оценочных расчетов типов ветроколес. Характеристика конкретного ветроколеса может быть подставлена в соответствующий блок.

В символьном виде эта характеристика имеет следующий вид

$$C_p = \begin{cases} 0 & \text{при } v \leq v_{\text{ст}} \\ k(v - v_{\text{ст}}) & \text{при } v_{\text{ст}} < v \leq v_{\text{раб}} \\ C_{p\text{max}} - k(v - v_{\text{раб}}) & \text{при } v_{\text{раб}} < v \leq v_{\text{откл}} \\ 0 & \text{при } v > v_{\text{откл}} \end{cases}. \quad (8)$$

где  $v$  — расчетная скорость ветра, м/с;

$v_{\text{ст}}$  — стартовая скорость ветроколеса, м/с;

$v_{\text{раб}}$  — рабочая скорость ветроколеса, м/с;

$v_{\text{откл}}$  — скорость отключения ветроколеса, м/с;

$C_{p\text{max}}$  — эффективность ветроколеса на рабочей скорости ветра, м/с;

$k$  — коэффициент наклона кривой, равный :

$$k = \frac{C_{p\text{max}}}{v_{\text{раб}} - v_{\text{ст}}}. \quad (9)$$

Ветроколесо работает с конкретным генератором электрической энергии. КПД генератора зависит от его частоты вращения и отбираемой мощности. Упростим модель и оставим только зависимость от частоты вращения. Предположим, что все ветроколеса согласованы с генераторами с помощью мульт-

типликаторов, чтобы на номинальной скорости ветра частота вращения вала генератора соответствовала номинальной.

Этот факт позволяет нам установить линейную связь между скоростью ветра от стартовой до номинальной и частотой вращения вала генератора. В этом диапазоне ветроколесо работает с максимальной быстроходностью. С увеличением частоты вращения вала свыше номинальной эффективность генератора будет падать. Следует так же учесть, что КПД генератора резко снижается при низких частотах вращения. В [15] приведена конструкция генератора на постоянных магнитах, который имеет расширенный диапазон рабочих частот вращения. Его характеристика представлена на рис. 4.

### Результаты и обсуждение

Чтобы результаты были сопоставимыми, ометаемая площадь во всех установках должна быть одинаковой. Каждое ветроколесо в моноагрегатной установке будет ометать площадь в  $1 \text{ м}^2$ . Ветроколеса в многоагрегатной установке будут ометать площадь в  $0,33 \text{ м}^2$  каждое. Рабочие скорости ветра и соответствующие им эффективности приведены в табл. 1.

Для каждого из диапазонов скоростей ветра была построена характеристика распределения по формуле (3) и определены соответствующие количества пере-

носимой энергии по формуле (7). Пример такого распределения приведен на рис. 5.

При расчете многоагрегатной установки было произведено суммирование энергии с учетом КПД суммирования 80%. В данном случае не рассматривается связь с частотой вращения вала генератора, поскольку она требует дополнительного уровня сложности. В случае отрицательного результата на этапе предварительной оценки дальнейшее рассмотрение этой модели будут бессмысленными.

Многоагрегатная ветроустановка ни в одном из режимов не имеет эффективности выше одиночного ветроколеса одинаковой ометаемой площади (табл. 2). Это же означает, что количество вырабатываемой электрической энергии будет ниже.

Эти расчеты будут справедливы в том случае, если рассматривать годовую среднюю скорость ветра. Если сузить диапазон до 4 дней, то результаты будут выглядеть иначе, поскольку в этом случае распределение превращается в нормальное.

В определенных периодах многоагрегатная установка имеет более высокую эффективность, чем каждое из ветроколес в отдельности. На практике это означает, что поступление энергии от нее является более равномерным по скоростям ветра.

Факт равномерности поступления энергии может показаться незначительным. Он приобретает особое

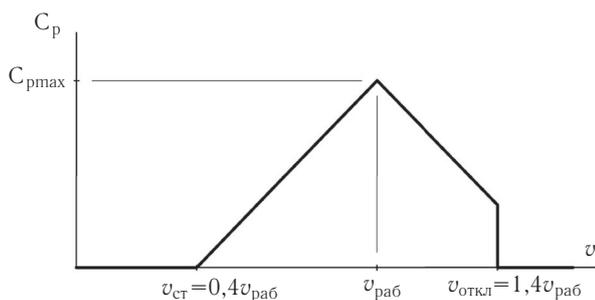


Рис. 3. Треугольная характеристика

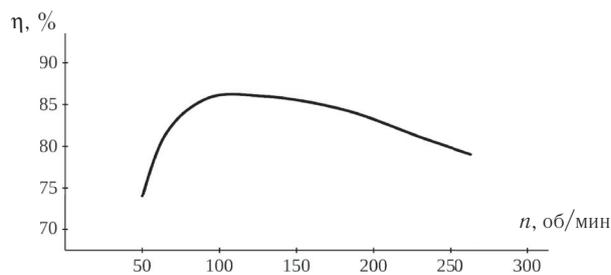


Рис. 4. КПД генератора

Таблица 1

Параметры ветроколес

Тип ветроколеса	Рабочая скорость ветра, м/с	Эффективность на рабочей скорости ветра (максимальная)
Двухлопастное	9	0,47
Трехлопастное	6	0,40
Ротор Дарье	4	0,36

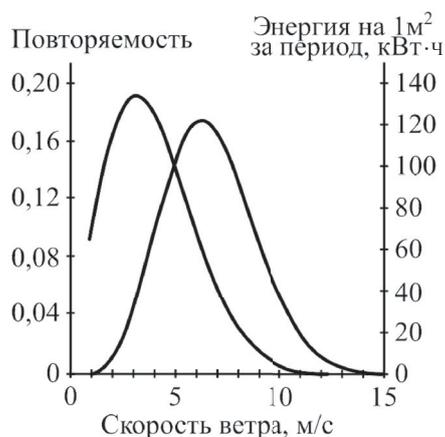


Рис. 5. Пример распределения повторяемости при средней скорости ветра 4 м/с и количество энергии, протекающее через 1 м<sup>2</sup> в течение года

значение в свете балансировки поступления и потребления энергии с помощью аккумуляторных батарей. Более стабильное поступление энергии позволяет значительно уменьшить емкость аккумуляторных батарей, которые составляют значительную долю расходов на эксплуатацию установки.

Использование накопителей электрической энергии для ветроэлектрических станций является обяза-

тельным из-за неравномерности поступления энергии ветра. Преимущества балансировки поступления и потребления энергии при использовании аккумулятора уравниваются снижением эффективности системы за счет прохождения энергии через еще один элемент. Возможности использования этой системы с аккумуляторами требуют дополнительного рассмотрения.

При использовании более эффективного ветроколеса количество часов его работы в году снижается. Вместе с этим количество вырабатываемой энергии остается примерно на том же уровне. Это означает, что аккумулятор будет работать в режиме более быстрой зарядки, что приведет к более низкому КПД. Этот же факт отразится на сроке службы аккумулятора.

### Выводы

Многоагрегатная установка не имеет преимуществ по количеству электрической энергии при соизмеримых размерах ветроколес. Использование же в контексте аккумуляторной ветроэлектрической станции может оказаться выгодным: более равномерное поступление энергии увеличивает срок службы аккумулятора и снижает потери в нем. Эти возможности требуют дополнительного рассмотрения и оценки технической и экономической перспективы такой конструкции. 

Таблица 2

Показатели эффективности по среднегодовым скоростям ветра

Средняя скорость ветра, м/с	Моно двухлопастная	Моно трехлопастная	Моно типа Дарье	Многоагрегатная
2	0,00414	0,06115	0,07614	0,03771
3	0,05172	0,15486	0,06501	0,07242
4	0,13343	0,15535	0,03472	0,08627
5	0,17474	0,11197	0,01716	0,08103
6	0,16688	0,07203	0,00872	0,06604

## Литература

1. Марцинкевич Б. Развитие ВИЭ энергетики в России: первые результаты и кадровые перспективы. URL: <http://geoenergetics.ru/2019/09/27/razvitiie-vie-energetiki-v-rossii/> (дата обращения: 12.06.2020).
2. Моренко, К.С. Модель мощности малой ветроэлектрической установки / К.С. Моренко, С.А. Моренко // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2020. – Т.67, №1(38). – С. 60–63. DOI: 10.22314/2658-4859-2020-67-1-60-63
3. Винников, А.В. К расчёту экономического потенциала ветровой энергетики и выбора ветроэлектрических установок / А.В. Винников, Е.А. Денисенко, А.О. Хицкова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – №115. – С. 1311–1323.
4. Вийтович, О.И. Коэффициент эксплуатационной надёжности как показатель эффективности ветроустановок на стадии проектирования / О.И. Вийтович // Ученые записки Забайкальского государственного университета. – 2014. – №3(56). – С. 6–14.
5. Безруких, П.П. Эффективность возобновляемой энергетики. Мифы и факты / П.П. Безруких // Вестник аграрной науки Дона. – 2015. – №1(29). – С. 5–17.
6. Николаев, В.Г. Национальный кадастр ветроэнергетических ресурсов России / В.Г. Николаев, С.В. Ганага, Ю.И. Кудряшов. – М.: Издательство «Атмограф», 2007.
7. G. Li, F. Yang, B. Du, J. Xu, M. Liu. Design and modelling of wind wheel of wind mill based on MATLAB and Pro/E / Journal of Machine Design. 2009. #6.
8. C. Fu, Y. Wang. Research of 3D finite element modelling on wind wheel blade of wind power generator / Journal of Machine Design. 2009. #9.
9. Цгоев, Р.С. Математическое моделирование аэродинамических характеристик ветроколеса / Р.С. Цгоев // Электротехника. – 2009. – №11. – С. 47–52.
10. Черников, В.Г. Оценка энергоэффективности работы ветроустановки в режиме максимальной мощности с использованием спектральной модели ветра Ван дер Ховена / В.Г. Черников // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2014. – №2(26). – С. 78–84.
11. Моренко, К.С. Выбор типа ветроэлектрического агрегата для автономного электроснабжения фермерского хозяйства / К.С. Моренко, С.А. Моренко // Электротехнологии и электрооборудование в сельскохозяйственном производстве: Сборник научных трудов ФГБОУ ВПО АЧГАА. Вып. 8. Т. 1. – Зерноград: ФГБОУ ВПО АЧГАА, 2011. – С. 20–24.
12. Твайделл, Дж. Возобновляемые источники энергии / Дж. Твайделл, А. Уэйр. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 392 с.
13. Pat. WO 2009/067210 A1, B63H1/26; High efficiency turbine and method of generating power / Sauer C., McGinnis P., Yatskar I., Firebaugh M. Publication date: 2009.05.28.
14. Пат. 2059109 Российская Федерация, МПК6 F 03 D 7/02A. Ветродвижитель / С.А. Никонов, Л.И. Терентьев; заявитель и патентообладатель Научно-производственная фирма «Ветэн» – №93012591/06; заявл. 09.03.1993; опубл. 27.04.1996.
15. Azeem Khan M., Pillay P. Design of a PM wind generator, optimised for energy capture over a wide operating range // Electric Machines and Drives, 2005 IEEE International Conference. 2005. DOI: 10.1109/IEMDC.2005.195919

# МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ И АВИАЦИОННОМ ТРАНСПОРТЕ

Задача прогнозирования величины пассажиропотока традиционно является актуальной для любого вида транспорта.

Авторами проведен анализ основных моделей прогнозирования пассажирских перевозок на железнодорожном и авиационном транспорте. Выявлены особенности различных подходов, проведена оценка погрешности при расчетах и условия применимости на практике различных моделей.

*Ключевые слова:* прогнозирование, математическое моделирование, пассажиропоток, железнодорожный транспорт



**А.Я. Бутыркин**



**Е.Б. Куликова**

**В** современных условиях задача прогнозирования величины пассажиропотоков становится еще более значимым и приоритетным направлением деятельности прежде всего авиационных и железнодорожных перевозчиков. Решение этой задачи позволяет сформировать компаниям пассажирского комплекса информационную базу для принятия управленческих решений, направленных на повышение качества транспортных услуг и удовлетворение спроса потребителей в полном объеме.

Использование в практической деятельности информации о будущих пассажиропотоках позволяет максимально точно определять и при необходимости корректировать в соответствии со спросом предоставляемые перевозочные емкости и размеры движения, повышать качество использования парка подвижного состава, рационально выстраивать инвестиционную и инновационную политику.

Вместе с тем, разделы Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года

**Бутыркин Александр Яковлевич**, доктор экономических наук, профессор кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы» Института управления и цифровых технологий Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: стратегическое планирование пассажирских перевозок, прогнозирование пассажиропотоков, математическое моделирование деятельности пассажирского транспорта, динамическое ценообразование; тарификация инфраструктуры в части пассажирских перевозок, RAB-регулирование тарифов, логистика пассажирских перевозок и взаимодействие различных видов транспорта. Автор 32 научных работ, в том числе восьми монографий.

**Куликова Екатерина Борисовна**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы» Института управления и цифровых технологий Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: организация пассажирских перевозок в дальнем и пригородном сообщении, скоростных и высокоскоростных перевозок пассажиров на железнодорожном транспорте, требования к инфраструктуре пассажирского комплекса (остановочным пунктам, объектам пассажирских обустройств), технология работы вокзальных комплексов и транспортных пересадочных узлов (комплексов), логистика пассажирских перевозок и взаимодействие различных видов транспорта, стандартизация качества обслуживания пассажиров на железнодорожном транспорте, пассажирские перевозки в международном сообщении. Автор 34 научных работ, в том числе 15 учебных пособий.

**Мадяр Ольга Николаевна**, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы» Института управления и цифровых технологий Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: качество обслуживания пассажиров, организация пассажирских перевозок в дальнем и пригородном сообщении, скоростных и высокоскоростных перевозок пассажиров на железнодорожном транспорте; взаимодействие различных видов транспорта. Автор 13 научных работ, в том числе трех учебно-методических пособий.

(утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008 г. № 1734-р) уже пришли в противоречие с реальными потребностями потребителей. Все это говорит, с одной стороны, о важности прогнозирования, а с другой — о сложности процесса прогнозирования пассажиропотоков, поскольку размеры пассажиропотоков и направления следования зависят от изменяющихся потребностей населения в перемещении. Кроме того, на реальные пассажиропотоки оказывает заметное влияние соотношение тарифов, продолжительность поездки и перечень услуг, предоставляемых конкурирующими видами транспорта.

В практике прогнозирования авиа- и железнодорожных перевозок широко применяются математические модели, которые строятся в виде уравнений, показывающих зависимость прогнозируемых показателей от тех или иных параметров (факторов). Современные подходы к прогнозированию основываются на таких методах как экстраполяция трендов, регрессионный анализ, метод эмпирических моделей.

### Методы экстраполяции трендов

Экстраполяция — это метод научного прогнозирования, который основан на распространении прошлых и настоящих тенденций, закономерностей, связей на будущее развитие объекта прогнозирования. Методы экстраполяции достаточно широко применяются на практике, так как они методически весьма просты и не требуют для расчетов большой статистической базы. Использование методов экстраполяции предполагает (в явном или неявном виде) два допущения, которые в большинстве случаев выполняются для транспортных систем:

- основные факторы и тенденции прошлого сохраняют свою траекторию и в будущем, то есть прослеживается четкий тренд развития системы;
- исследуемое явление развивается эволюционно, по плавной траектории, которую можно выразить математически и описать через теорию непрерывных функций.

К методам экстраполяции относится метод скользящей средней, метод экспоненциального сглаживания, метод наименьших квадратов.

Метод скользящей средней является одним из широко известных методов сглаживания временных рядов. Сглаживание на основе скользящих средних основано на том, что в средних величинах взаимно погашаются случайные отклонения. Сглаживание динамического ряда исторических значений показателей с помощью скользящей средней заключается в том, что вычисляется средний уровень из определенного числа первых по порядку значений ряда, затем

средний уровень из такого же числа значений, начиная со второго, далее — начиная с третьего и т.д.

Пусть динамический ряд состоит из  $f$  известных исторических значений (иными словами длина динамического ряда равна  $f$ ). Тогда значение скользящей средней в общем виде определяется по формуле:

$$Y_t = \frac{1}{n} \sum_{i=t-p}^{i=t+p} y_i, \quad (1)$$

где  $Y_t$  — значение скользящей средней в период  $t$ . Для  $t=1$  скользящая средняя не рассчитывается;

$y_i$  — фактические (на соответствующих шагах — прогнозные) значения показателей динамического ряда;

$n$  — нечетное число уровней, входящих в интервал сглаживания;

$$p = \frac{(n-1)}{2}.$$

Относительно значения  $n$  можно сказать следующее. Чем шире интервал сглаживания (больше  $n$ ), тем более плавным получается тренд. Одновременно заметно возрастают требования к длительности исходного динамического ряда, что создает практические трудности. Для целей практического использования рекомендуется принять значение  $n=3$ . В таком случае формула (1) упростится и примет вид:

$$Y_t = \frac{1}{3} \sum_{i=t-1}^{i=t+1} y_i. \quad (2)$$

Если исходный динамический ряд состоит из  $f$  известных значений, то значения, которые относятся к будущим периодам (прогнозные  $y_{f+1}$ ;  $y_{f+2}$  и т.д.), определяют по формуле:

$$y_{f+h} = Y_{f+h-2} + \frac{1}{n} (y_{f+h-1} - y_{f+h-2}), \quad (3)$$

где  $y_{f+h}$  — значение прогнозируемого показателя;

$h=1, 2, 3$  и т.д.;

$f+h$  — прогнозный период;

$n$  — нечетное число уровней, входящих в интервал сглаживания (рекомендуется принять  $n=3$ );

$Y_{f+h-2}$  — скользящая средняя за 2 периода до прогнозного;

$y_{f+h-1}$ ;  $y_{f+h-2}$  — фактические (на соответствующих шагах — прогнозные) значения динамического ряда определяемого показателя за предшествующий период и за два периода, предшествующие прогнозируемому.

Проведем апробацию модели на примере пассажирооборота АО «ФПК», спрогнозировав значение данного показателя за 2019 г. Исходя из существа метода, данные по пассажирообороту до 2015 г. в расчетах не требуются и не участвуют. Исходные данные и результаты расчета приведены в табл. 1.

По предварительным данным, пассажирооборот в АО «ФПК» увеличился примерно на 3,5% и составил около 94,8 млрд пасс.-км. Таким образом, ошибка прогноза составляет около 4%. Такой метод верификации модели (когда известна прогнозируемая величина) называется бэкстестингом.

Такая большая ошибка объясняется «переломом» динамического ряда пассажирооборота в 2017 г., что противоречит исходной предпосылке метода о наличии устойчивого тренда развития системы.

Заметим, что метод скользящих средних подходит только для кратко- и среднесрочного периода прогнозирования (1–3 года) и для долгосрочных прогнозов неприменим в силу накопления ошибок расчетов.

Метод экспоненциального сглаживания также как и метод скользящих средних эффективен только для кратко- и среднесрочных прогнозов и приемлем только на один период вперед. Суть метода — расчет экспоненциально взвешенных средних для всех исторических значений динамического ряда. Базовая формула метода экспоненциального сглаживания следующая:

$$U_{t+1} = ay_t + (1-a)U_t, \quad (4)$$

где  $U_t$  — экспоненциально взвешенная средняя;

$y_t$  — фактические значения показателя динамического ряда;

$a$  — параметр сглаживания, который в большинстве практических расчетов определяется по следующей формуле:

$$a = \frac{2}{f+1}, \quad (5)$$

где  $f$  — длина исторического динамического ряда.

В качестве  $U_1$  предлагается принять среднеарифметическое значение показателей динамического ряда длиной  $f$ .

Как и при рассмотрении предыдущего метода, проведем апробацию модели на примере пассажирооборота АО «ФПК», спрогнозировав значение данного показателя за 2019 г. (длина ряда  $f=8$ ). Исходные данные и результаты расчета приведены в табл. 2.

Графически показатели фактического, прогнозного пассажирооборота и экспоненциально взвешенной средней показаны на рис. 1.

Прогноз, полученный по методу экспоненциального сглаживания, отличается существенно меньшим отклонением от фактического значения по сравнению с прогнозом по методу скользящих средних. Оба прогноза дают значения ниже фактически полученного пассажирооборота. На взгляд авторов, основная причина ошибки — математические модели, основанные только на исторических данных, не способны без дополнительной корректировки учесть усилия менеджмента по формированию эффективной маршрутной сети, динамической корректировке тарифов и другие маркетинговые инициативы, направленные на привлечение пассажиров.

Сущность метода наименьших квадратов состоит в минимизации суммы квадратичных отклонений между фактически известными и расчетными значениями. Расчетные величины находятся по подобранному уравнению. Сглаживание временных рядов методом наименьших квадратов служит для отражения закономерности развития изучаемого показателя. В аналитическом выражении тренда время рассматривается как независимая переменная, а значения динамического ряда выступают как функция этой независимой переменной. Правильно установить тип кривой, иными словами тип аналитической зависимо-

Таблица 1

**Прогноз пассажирооборота АО «ФПК» по методу скользящей средней**

Год	Пассажирооборот, млрд пасс.-км.*	Скользящее среднее $Y_t$ , млрд пасс.-км
2015	86,1	—
2016	89,5	87,5
2017	87,0	89,4
2018	91,6	—
2019 прогн.	90,9	

\*Источник: Данные сайта [https://ipc.ru/static/public/ru?STRUCTURE\\_ID=253](https://ipc.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=253)

сти динамического ряда от времени — одна из самых сложных задач в данном методе.

### Модели регрессионного анализа

Регрессионный анализ, в отличие от моделей экстраполяционного типа, основывается не на наличии зависимости прогнозируемого параметра от времени,

а на выявлении зависимости прогнозируемого показателя от факторов, оказывающих существенное влияние на прогнозируемый процесс. Такие модели наиболее широко применимы для долгосрочных прогнозов.

Главная трудность для данного метода заключается в поиске и тестировании факторов, наиболее в

Таблица 2

### Прогноз пассажирооборота АО «ФПК» по методу экспоненциального сглаживания

Год	Пассажирооборот, млрд пасс.-км.*	Экспоненциально взвешенная средняя $U_t$ , млрд пасс.-км
2011	111,4	97,7
2012	114,0	100,7
2013	107,0	103,5
2014	94,6	104,2
2015	86,1	102,1
2016	89,5	98,5
2017	87,0	96,6
2018	91,6	94,1
2019 (факт)	94,8	—
2019 (прогн)	93,6	93,6

\*Источник: Данные сайта [https://fpc.ru/static/public/ru?STRUCTURE\\_ID=253](https://fpc.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=253)

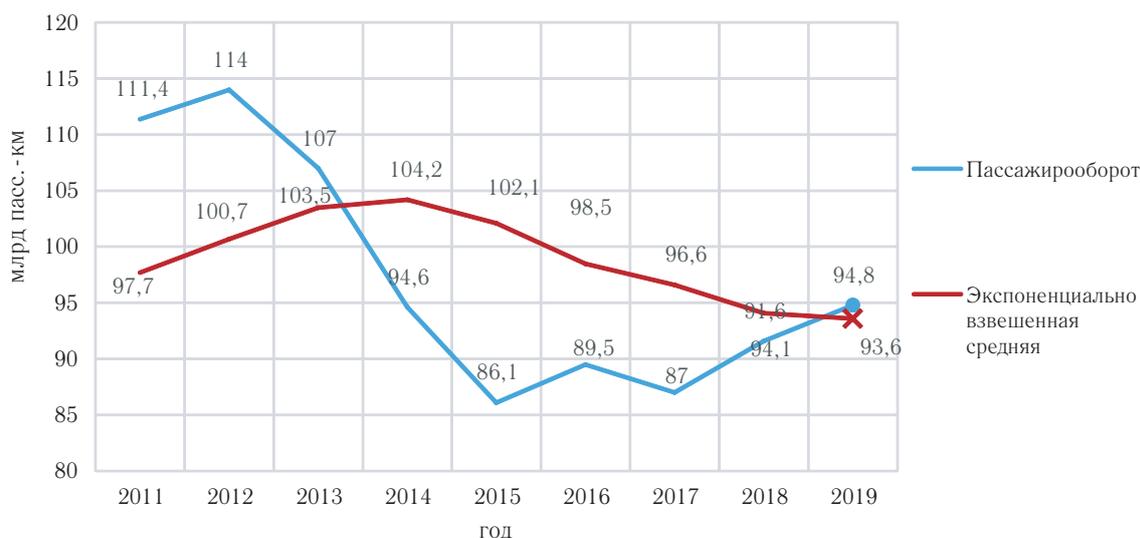


Рис. 1. Показатели фактического пассажирооборота и экспоненциально взвешенной средней за период с 2011 по 2018 гг. и их прогнозные величины на 2019 г.

экономическом смысле связанных с прогнозируемым показателем.

Проведенные исследования показывают, что показатели пассажирских перевозок, прежде всего пассажирооборот, существенно зависят от макроэкономических факторов: динамики ВВП страны, ВВП на душу населения, индекса потребительских цен, средних денежных доходов населения и ряда других факторов.

На зависимость объема пассажирских перевозок от комплекса факторов народнохозяйственного значения указывали многие российские экономисты еще в период плановой экономики [1]. Они отмечали, что в основе среднесрочных и долгосрочных оценок параметров пассажирских перевозок должно лежать изучение корреляционной зависимости транспортной подвижности от уровня благосостояния населения. В качестве показателей благосостояния предлагалось использовать национальный доход, уровень реальных и денежных доходов населения. Установлена практически линейная функциональная зависимость (коэффициент корреляции более 0,98) между подвижностью населения и реальными доходами на душу населения; подвижностью населения и национальным доходом; подвижностью и ростом денежных доходов.

Более поздние работы подтверждают точность высказанных положений и в рыночной среде. В частности, в работе [2] подтверждена практически линейная зависимость между годовым ВВП на душу населения и пассажирооборотом на железнодорожном транспорте. Обзор работ на данную тему и расчеты влияния макроэкономических факторов на показа-

тели пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте на длительном временном горизонте приведены в работе [3].

Исследования зависимости количественных характеристик работы авиационной транспортной отрасли, прежде всего количество перевезенных пассажиров, от макроэкономических показателей проводились в целом ряде работ [4–8]. Во всех работах показана тесная связь между пассажирооборотом авиационного транспорта и ВВП, которая сохраняется в течение длительного времени.

На рис. 2 представлены графики изменения пассажирооборота АО «ФПК» и ВВП по годам.

На рис. 3 показана однофакторная регрессионная зависимость изменения пассажирооборота АО «ФПК» от изменения ВВП.

Как видно из графиков, взаимосвязь пассажирооборота и ВВП хорошо прослеживается на достаточно больших временных горизонтах и носит верный индикативный характер. Вместе с тем, в разрезе одного-двух лет может наблюдаться неодинаковая динамика изменения спроса на пассажирские перевозки и ВВП, что предопределяет высокую дисперсию оценки пассажирооборота на основе данной зависимости. Это связано с некоторым запаздыванием формирования спроса на пассажирские перевозки в зависимости от изменения макроэкономической ситуации в стране и воздействием других факторов, влияющих на транспортную подвижность населения.

Регрессионные модели являются основным инструментом долгосрочного прогнозирования пассажирооборота и за рубежом, особенно в сфере авиационного

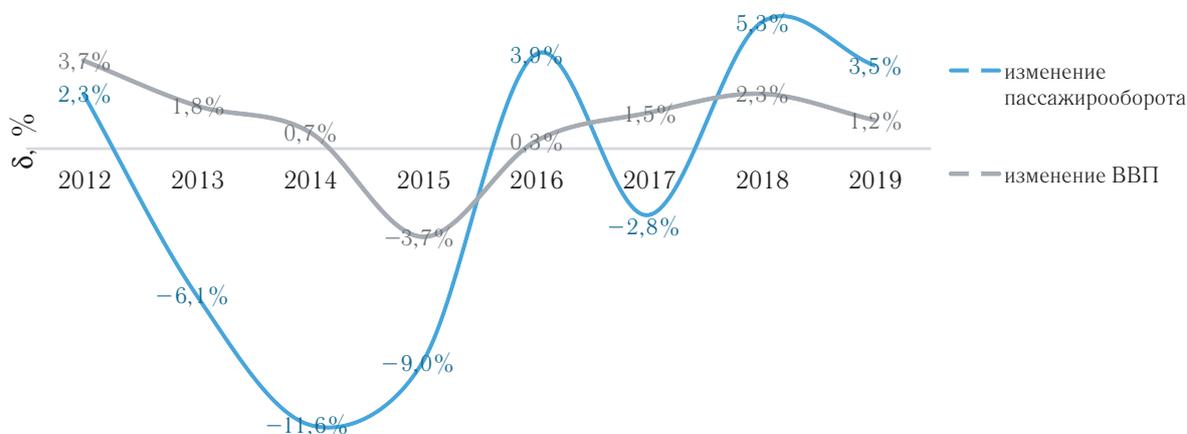


Рис. 2. Графики изменения пассажирооборота АО «ФПК» и ВВП по годам

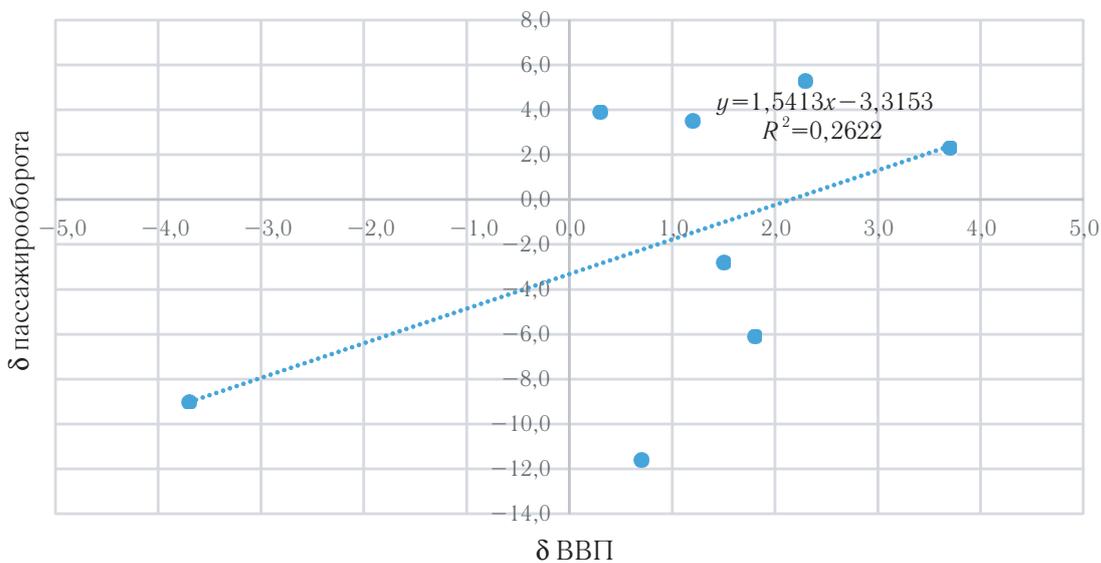


Рис. 3. Однофакторная регрессионная зависимость изменения пассажирооборота АО «ФПК» от изменения ВВП

транспорта. Основной методикой прогнозирования в этом виде транспорта является методика, предложенная Международной организацией гражданской авиации ИКАО, которую можно представить как мультипликативную форму описания функциональной зависимости пассажирооборота от конъюнктурообразующих факторов (6), так называемую мультипликативную регрессионную модель [9]:

$$Y = a \cdot X_1^b \cdot X_2^c, \quad (6)$$

где  $Y$  — величина пассажирооборота;

$X_1, X_2$  — независимые переменные, отражающие влияние различных факторов на авиаперевозки;

$a, b, c$  — постоянные коэффициенты, характеризующие эластичность спроса по отношению к соответствующей переменной.

В документе ИКАО, Doc 8991 отмечается, что независимых переменных может быть более двух. Однако в мировой практике прогнозирования при составлении прогнозов в целом для маршрутной сети, как правило, используется только две переменные, причем в качестве одной всегда выступает некий макроэкономический показатель (обычно ВВП), а в качестве другой — показатель, характеризующий стоимость перевозки (обычно доходная ставка на один пассажиро-километр).

Поскольку модели регрессионного анализа наиболее часто используются для индикативного прогнозирования на долгосрочный период (до 20 и более лет), необходимо сделать важное замечание. Исторически

верная и действующая в настоящее время тесная корреляционная зависимость пассажирооборота от макроэкономических показателей, скорее всего, ослабнет в долгосрочной перспективе (на горизонте более 10 лет). Это объясняется, в частности, приближением рынка перевозок к насыщению.

Впервые данную проблему четко сформулировал шведский экономист Л. Торнквист, предложив использовать аналитические зависимости (функции Торнквиста) спроса  $Q$  и дохода  $S$  для трех групп товаров и услуг: «первой необходимости», «второй необходимости» и «предметов роскоши» (рис. 4). Для товаров первой необходимости функция (кривая 1) имеет выпуклый вид, выходит из нулевой точки, и асимптотически приближается к верхнему пределу спроса рынка  $Q_1$ , характеризующему уровень насыщения данным товаром. Для товаров второй необходимости функция (кривая 2) тоже имеет выпуклый вид и приближается с ростом доходов к верхнему пределу потребления товаров данной группы  $Q_2$ . Спрос на группу товаров второй группы начинается с некоего дохода  $S_2$ , после чего появляется возможность приобретения товаров данной группы. Приближение объема потребления к предельным величинам свидетельствует о насыщении рынка. Для предметов роскоши объем потребления не имеет верхнего предела и проявляется после достижения доходов на уровне  $S_3$ .

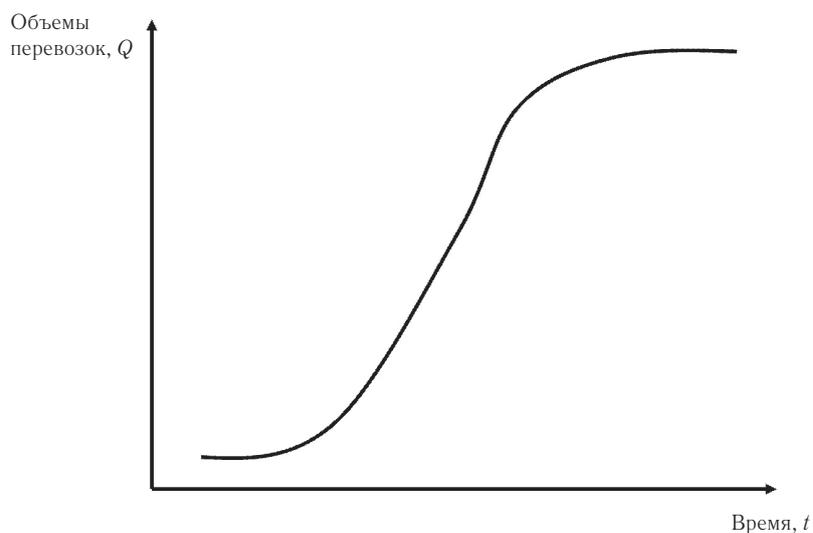
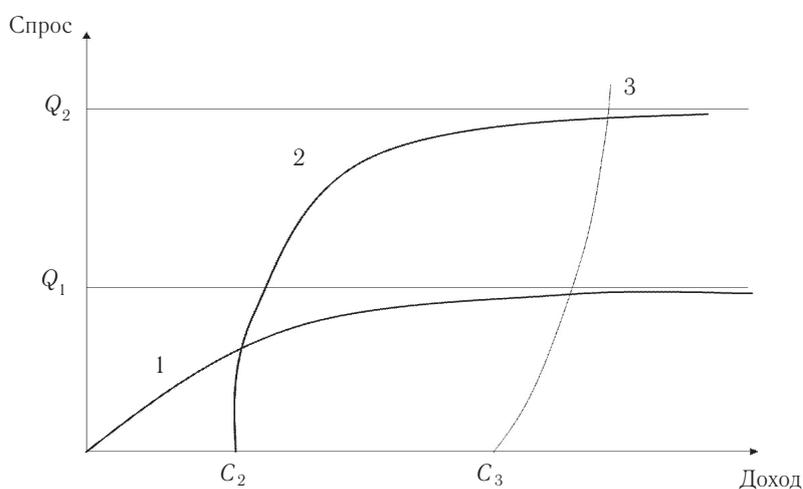
Согласно теории Торнквиста, пассажирские перевозки следует отнести к товарам второй группы. Для данного вида услуг существует пороговый уро-

вень доходов  $C_2$ , по достижении которого население начинает пользоваться услугами авиа- и железнодорожного транспорта. Верхний предел потребления  $Q_2$  свидетельствует о существовании максимума для поездок в год, и как следствие — затухание спроса на перевозки.

Заметим, что существует и альтернативная точка зрения, особенно относительно перспектив подвижности населения Российской Федерации. Дело в том, что среднестатистический россиянин совершает в 4–7 раз меньше поездок в год, чем среднестатистический житель Западной Европы. Исходя из данного факта, как полагает ряд специалистов, насыщения спроса на

поездки в нашей стране не будет в течение минимум нескольких десятилетий.

Теория предела насыщения спроса получила современное развитие в виде так называемой логистической кривой [14]. Кривая имеет S-образную форму. В начальный момент времени наклон этой кривой возрастает практически как у экспоненты, а затем горизонтально уменьшается до нуля. При больших значениях  $t$  (длительный горизонт прогнозирования) кривая сливается с горизонтальной прямой (рис. 5). Это так называемое равновесное состояние, к которому стремится перспективный долгосрочный объем перевозок.



### Методы эмпирических моделей

К специфическим методам прогнозирования пассажирских перевозок относится использование так называемых гравитационных моделей [14;15]. С помощью гравитационных моделей обычно оцениваются объем перевозок между крупными городами, промышленными центрами. Структура расчетных формул при этом аналогична гравитационной формуле взаимодействия сил Ньютона (отсюда и название моделей):

$$Y_{1,2} = k \frac{S_1 S_2}{W_{1,2}^n}, \quad (7)$$

где  $Y_{1,2}$  — пассажирооборот между центрами 1 и 2;

$W_{1,2}$  — расстояние между городами;

$S_1, S_2$  — численность населения соответствующих городов;

$k, n$  — эмпирические константы.

После проведения калибровки формулы, которая заключается в подборе констант  $k$  и  $n$  индивидуально для каждой интересующей пары городов по историческим значениям пассажирооборота, расчет прогнозного пассажирооборота фактически сводится к прогнозированию численности населения соответствующих городов. Данные значения можно найти в перспективных планах развития городов на средне- и долгосрочный период в интернете в открытом доступе, обычно на сайте администрации города.

Разновидностью гравитационных моделей является модель Бьеркмана, согласно которой темп роста перевозок между двумя городами ( $dY_{1,2}$ ) определяется произведением:

$$dY_{1,2} = dP \cdot dD \cdot dS^2, \quad (8)$$

где  $dP, dD, dS$  — темпы роста, соответственно числен-

ности населения, его покупательской способности и улучшения качества предоставляемых услуг.

Методические вопросы и практические расчеты эластичности спроса относительно качества транспортного обслуживания заслуживают отдельного детального рассмотрения и выходят за рамки настоящей статьи. В связи с этим можно порекомендовать работу [16].

В условиях жесткой конкурентной борьбы за клиента на транспортном рынке вопрос прогнозирования объемов предстоящей работы занимает важнейшее место, определяя стратегию развития транспортной компании и эффективность ее работы. К сожалению, зачастую компании не уделяют должного внимания всему спектру сопутствующих вопросов, определяющих глубину необходимых исследований транспортного рынка и точность прогнозных данных. Работе, связанной с прогнозированием, должна сопутствовать деятельность по формированию аналитической базы влияющих факторов, их постоянный мониторинг, исследовательская деятельность по анализу влияния каждого из них на потенциальный спрос клиентов.

### Вывод

Основываясь на проведенный анализ можно сделать вывод, что не существует универсального метода прогнозирования величины пассажиропотока на транспорте, позволяющего точно и без серьезных погрешностей рассчитать потенциальные объемы перевозок на временной период более трех лет. Работа, связанная с прогнозированием должна вестись постоянно и системно, а используемые модели выбираться исходя их принципов целесообразности и доступных ресурсов компании. 

## Литература

1. Правдин, Н.В. Прогнозирование пассажирских потоков: (Методика, расчеты, прим.) / Н. В. Правдин, В.Я. Негрей. — М.: Транспорт, 1980. — 222 с.
2. Бутыркин, А.Я. Система прогнозирования пассажирооборота Федеральной пассажирской компании / А.Я. Бутыркин, В.И. Михайлов // Экономика железных дорог. — 2012. — №10. — С. 19–26.
3. Каган, Д.З. Оценка зависимости пассажирооборота от макроэкономических факторов / Д.З. Каган // Мир транспорта. — 2017. — Т.15, №1(68). — С. 140–149.
4. Кособреев, С.И. О факторах, влияющих на развитие пассажирских перевозок в междугороднем сообщении, и роли воздушного транспорта в их обеспечении / С.И. Кособреев // Экономика и планирование воздушного транспорта. — М.: Редиздат Аэрофлота, 2014. — С. 56–57.
5. Балашов, В.В. Оценка спроса на пассажирские авиаперевозки / В.В. Балашов, А.В. Смирнов // Мир транспорта. — 2013. — Т.11, №4 (48). — С. 78–87.
6. Егорова, Т.П. О транспортной подвижности населения и ее роли в стратегическом планировании предприятий транспорта. [www.esa-conference.ru](http://www.esa-conference.ru)

7. Гязова, М.М. Оценка точности и адекватности прогнозной модели и прогнозирование объемов авиaperевозок / М.М. Гязова // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция. –2015. – №2. –С. 91–93.
8. Ярошевич, Н.Ю. Модель прогнозирования спроса на авиaperевозки аэропорта в условиях меняющейся конъюнктуры рынка / Н.Ю. Ярошевич, В.Ж. Дубровский // Известия УрГЭУ. –2014. – №6 (56). –С. 54–61.
9. Руководство по прогнозированию воздушных перевозок, 2-е изд. –ИКАО, Doc 8991 – AT/722/2, 1985.
10. Басовский, Л.Е. Прогнозирование и планирование в условиях рынка [Текст]: учебное пособие / Л. Е. Басовский. –Москва: ИНФРА-М, 2010. –259 с.
11. Владимирова, Л.П. Прогнозирование и планирование в условиях рынка: Учеб. пособие / Л.П. Владимирова. –3-е изд., перераб. и доп. –М.: Дашков и Ко, 2004. –399 с.
12. Четыркин, Е.М. Статистические методы прогнозирования [Текст] / Е.М. Четыркин. –Москва: Статистика, 1975. –184 с.
13. Слуцкий, Л.Н. Курс МВА по прогнозированию в бизнесе / Лев Слуцкий. –Москва: Альпина Бизнес Букс, 2006 (Ульяновск: Ульяновский Дом печати). –276 с.
14. Организация пассажирских перевозок [Электронный ресурс]: учебник / Под ред. А.Г. Котенко и Е.А. Макаровой. –М.: ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2017. –136 с. Режим доступа: <http://umczdt.ru/books/40/39297/> –Загл. с экрана.
15. Экономика пассажирского транспорта [Текст]: учебное пособие / коллектив авторов; под общей ред. проф. В.А. Персианова. –2-е изд., стер. –Москва: КноРус, 2017. –389 с.
16. Лавров И.М. Методика и результаты расчетов эластичности спроса относительно качества транспортного обслуживания /И.М. Лавров // Мир транспорта. –2014. –Т.12, №1 (50). –С. 86–95.

## ПРЕДПОСЫЛКИ И КОНЦЕПЦИЯ ПЕРЕХОДА К ОПЕРАТИВНОМУ УПРАВЛЕНИЮ ПОРОЖНИМИ ВАГОНПОТОКАМИ В РЫНОЧНЫХ УСЛОВИЯХ



А.А. Шатохин



Г.М. Биленко

Представлены исследования проблем организации порожних вагонопотоков в рыночных условиях от момента приема вагона к перевозке до ее завершения. Предложен новый подход управления порожними вагонопотоками во взаимодействии с операторами подвижного состава, позволяющий сократить расходы компании на организацию порожних вагонопотоков, улучшить показатели использования подвижного состава, принадлежащего операторским компаниям.

*Ключевые слова:* грузовые вагоны, улучшение эксплуатационных показателей, сокращение простоя, рынок операторских услуг

**В** процессе реформирования железнодорожного транспорта был сформирован рынок услуг по предоставлению грузовых вагонов, при котором функции распределения порожних вагонов под погрузку перешли от перевозчика к операторским компаниям. Это позволило привлечь частные инвестиции в содержание и развитие парка грузовых вагонов, повысить качество обслуживания клиентов железнодорожного транспорта. Но также появились и техно-

логические проблемы, связанные с управлением парком порожних вагонов; изменились критерии и методы управления грузовыми вагонами.

Современные тенденции в порядке направления порожних вагонов на станции погрузки привели к принципиальным изменениям в общей системе организации вагонопотоков.

Появились новые технологические проблемы, связанные с децентрализацией управления вагонными

**Шатохин Андрей Андреевич**, кандидат технических наук, заместитель начальника отделения Автоматизации маневровой работы Научно-исследовательского и проектно-конструкторского института информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте (АО «НИИАС»). Область научных интересов: логистика, управление перевозочным процессом железнодорожного транспорта. Автор 52 научных работ.

**Биленко Геннадий Михайлович**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Управление транспортными процессами» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: вопросы расчета и анализа, выбора способов усиления пропускной способности железнодорожных станций, участков и направлений, совершенствования технологии работы железнодорожных станций. Автор 45 научных работ.

**Симачкова Ирина Валерьевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление транспортными процессами» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: вопросы совершенствования технологии и технического оснащения железнодорожных станций и полигонов. Автор 27 научных работ.

**Буракова Анжелика Васильевна**, старший преподаватель кафедры «Социально-гуманитарные, естественно-научные и общепрофессиональные дисциплины» филиала Ростовского государственного университета путей сообщения (РГУПС) в г. Воронеж. Область научных интересов: совершенствование технологии перевозочного процесса, современные технологии работы станций и узлов, математическое моделирование транспортных процессов. Автор 12 научных работ.

**Власова Елена Сергеевна**, старший преподаватель кафедры «Управление транспортными процессами» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: совершенствование технологии перевозочного процесса, современные технологии работы станций, математическое моделирование транспортных процессов, технологии системы обслуживания грузоперевозчика, грузовая работа на станции. Автор 22 научных работ.

парками и изменением правил взаимодействия участников перевозочного процесса, например: скопление порожних вагонов в местах массовой погрузки и на подходах к ним, встречные пробеги взаимозаменяемых порожних вагонов, их переработка в соответствии с перевозочными документами, ограничения пропускной способности железнодорожной инфраструктуры. Поэтому потребность в повышении эффективности организации порожних вагонопотоков сохранилась как у ОАО «РЖД», так и у операторов подвижного состава [1–3].

После перехода вагонов из инвентарного парка в собственный наблюдается существенное снижение показателей их использования. Это приводит к увеличению потребного парка вагонов, расходов на его содержание и выполнение эксплуатационной работы из-за увеличения нагрузки на железнодорожную инфраструктуру.

Основное различие в управлении этими парками вагонов заключается в порядке направления под погрузку. Под управлением ОАО «РЖД» инвентарные вагоны направлялись в регионы погрузки в порядке регулировки, где распределялись по станциям на этапе сменно-суточного планирования.

В настоящее время собственные порожние вагоны направляются на станции погрузки по полным перевозочным документам со станции выгрузки с указанием станции назначения [4;5]. В таких условиях у ОАО «РЖД» появились следующие технологические проблемы:

- увеличение объемов переработки взаимозаменяемых порожних вагонов одного типа и принадлежности в соответствии со станциями назначения в транзитном и местном сообщениях;
- увеличение доли порожнего пробега вагонов по ряду причин, в том числе из-за наличия встречных пробегов взаимозаменяемых порожних вагонов, наличия повторных рейсов, направления вагонов в наиболее дешевые места ремонта и других.

Наличие назначений у порожних вагонов и особенности их распределения операторами по станциям погрузки оказывает влияние на весь процесс доставки от момента приема вагона к перевозке до ее завершения.

Проведен анализ операций уборки вагонов с фронтов выгрузки из немаршрутизированных порожних полувагонов АО «ПГК» по Юго-Восточной железной дороге за август 2020 года. Выявлено, что в 18% уборок имеются 2 и более групп вагонов, имеющих разные назначения. В некоторых случаях количество назначений порожних вагонов в одной уборке достигает 7, что приводит к необходимости переработки приня-

тых к перевозке вагонов на станции отправления и на ближайшей технической станции.

Аналогичная проблема наблюдается и при организации пропуска порожних полувагонов в транзитном состоянии. Анализ размеченных натуральных листов грузовых поездов, содержащих порожние полувагоны АО «ПГК», показал факт увеличения количества отцепов в составе поезда из-за наличия назначений у порожних полувагонов. В отдельных случаях количество отцепов увеличивается на 6–7, что приводит к замедлению переработки вагонопотока на сортировочных станциях [6].

Проблема необходимости подбора взаимозаменяемых порожних вагонов в соответствии со станциями назначения и получателями усложняет подвод порожних вагонов к местам погрузки, когда необходимо группировать порожние вагоны не только по станциям назначения, но и по местам их подачи. Особенно заметна такая проблема при обеспечении погрузки порожними вагонами станций, имеющих двух и более грузоотправителей взаимозаменяемого подвижного состава. Для таких станций в рамках существующего нормативно-правового поля железнодорожниками реализованы различные технологические решения, позволяющие частично адаптироваться к новым условиям (табл. 1).

Например, для станций Костомукша-Товарная Октябрьской ж.д., Лабинская Северо-Кавказской ж.д., Асфальтная Южно-Уральской ж.д. ближайшие сортировочные станции формируют поезда с подбором порожних полувагонов группами не только по станциям назначения, но и по каждому клиенту, что позволяет сократить маневровую работу на станции погрузки по подбору групп подачи. Таким образом, перестановка взаимозаменяемых порожних вагонов в соответствии с получателями выполняется на сортировочной станции, где имеются необходимые технологические возможности, а стоимость такой операции существенно ниже, чем на станции погрузки.

В отдельных случаях, по согласованию с другими участниками перевозочного процесса, оператор заадресовывает все вагоны в адрес наиболее крупного отправителя на станции. По мере необходимости выполняется внутристанционная переадресовка уже прибывших вагонов, стоящих одной группой для других отправителей (например, на станции Божковская Северо-Кавказской ж.д.). Такой подход позволяет сократить количество маневровых операций с порожними вагонами, но не имеет широкого применения на сети железных дорог.

Также существует проблема, связанная с «разрывом» между нормативным и технологическим сроком

Таблица 1

**Примеры станций, для которых осуществляется подбор порожних полувагонов  
по местам подачи в соответствии с отправителями**

Дорога	Станция	Отправитель	Среднесуточная погрузка, ваг/сут
Красноярская ж.д.	КАМЫШТА В некоторых случаях прибытие поездов осуществляется без подбора вагонов по группам. Пример в натурных листах 777, 888.	код 2983	3
		код 2537	67
		код 4769	130
		код 7007	6
		код 7049	67
		код 7275	200
	ТАШЕБА Поезда прибывают с подобранными группами вагонов.	код 2155	5
		код 7049	64
		код 7485	62
	ЧЕРНОГОРСКИЕ КОПИ В некоторых случаях прибытие поездов осуществляется без подбора вагонов по группам.	код 4148	3
		код 6155	292
		код 7032	171
	ЧЕРЕМХОВО Поезда прибывают с подобранными группами вагонов.	код 2120	168
		код 3214	5
код 4454		12	
Свердловская ж.д.	ЛАКИ Подбор вагонов производится на станциях Бисер и Азиатская.	код 2006	16
		код 9202	18
	АСБЕСТ Подбор вагонов производится на станции Баженово.	код 2107	15
		код 8307	148
	ПОЛЕВСКОЙ Поезда прибывают с подобранными группами вагонов.	код 8337	4
		код 3890	40
		код 4405	7
		код 5511	4
		код 7539	7
		код 7749	6
Октябрьская ж.д.	КОСТОМУКША-ТОВАРНАЯ Поезда прибывают с подобранными группами вагонов.	код 8340	3
		код 2424	118
Северо-Кавказская ж.д.	БОЖКОВСКАЯ Все вагоны прибывают в адрес одного клиента (код 2006), далее происходит внутристанционная переадресовка.	код 5010	349
		код 2006	112
		Донской уголь	22
		код 5034	12
	ЛАБИНСКАЯ Поезда прибывают с подобранными группами вагонов.	Дон Антрацит	13
		ООО «Транс»	24
		код 3227	43
		код 3606	42



Таблица 2

**Наличие встречных направлений порожних полувагонов  
по дорожным стыкам ОАО «РЖД»**

Стык	Обмен по дорожным стыкам за 2019 год				Среднесуточные размеры, ваг.		% встречного
	Сдача		Прием		Основной поток	Встречный поток	
	Дорога	Ваг.	Дорога	Ваг.			
НИЖНЯЯ	СВР	115 106	ЮУР	49 704	315	136	43%
КОШТА	ОКТ	447 899	СЕВ	41 429	1 227	114	9%
СОХРАНОВКА	СКВ	256 978	ЮВС	27 729	704	76	11%
БЛАГОДАТКА	ЮВС	78 494	ПРВ	26 678	215	73	34%
АЛЕКСАНДРОВ	МСК	23 184	СЕВ	243 551	667	64	10%
КРИВОЗЕРОВКА	ЮВС	323 990	КБШ	21 384	888	59	7%
ЕЛЕЦ	МСК	16 794	ЮВС	17 977	49	46	93%
ОЛЕЙНИКОВО	СКВ	27 816	ПРВ	15 964	76	44	57%
...							
Итого по сети ОАО «РЖД»						1 008	

Для реализации услуги потребуется адаптация существующих технологий управления эксплуатационной работой, доработка нормативно-правовой базы и технологии информационного взаимодействия участников перевозочного процесса с целью удовлетворения их требований и ограничений к оперативному управлению назначениями порожних вагонов, в том числе:

- своевременного прибытия вагона на станцию планируемой погрузки;
- принадлежности станции нового назначения вагона диапазонам, определенным в соответствии с планом формирования поездов, технологией организации пропуска вагонопотоков и местной работы;
- подвода на станцию погрузки необходимого количества вагонов в соответствии с заявками отправителей по периодам планирования;
- непревышения лимита пропускной и перерабатывающей способности используемых объектов инфраструктуры по периодам планирования;
- удовлетворения требованиям отправителя по параметрам и конструкционным особенностям вагона;
- достаточности остаточного пробега вагона до момента планового ремонта для выполнения планируемой перевозки.

На этапе заключения договора на оказание услуги между оператором вагонов и ОАО «РЖД» необходимо согласование алгоритма оперативного управле-

ния назначениями порожних вагонов в соответствии с интересами всех сторон, выполнение необходимой доработки существующих автоматизированных систем, находящихся в ведении ОАО «РЖД» и операторской компании, в том числе, и для обеспечения системы необходимой входной информацией и реализации электронного документооборота в оперативном режиме (рис. 2).

На основе согласованного алгоритма в допустимые технологические состояния для изменения назначения вагонов и при наличии перспективы получения технологического эффекта системой будет автоматически генерироваться операция «Виртуальная сортировка порожнего вагона» с последующей передачей информации в АСОУП-2кс. Далее должна произойти верификация возможности выполнения данной операции и передача результатов верификации в ЭТРАН и АСУ операторской компании. Результаты выполнения операции должны автоматически регистрироваться в электронных перевозочных документах.

По итогам отчетного периода системой должен производиться анализ результатов с оценкой технологического эффекта.

При оказании услуги тарификацию порожнего рейса вагона необходимо производить по фактически пройденному расстоянию до станции погрузки как за единый рейс от станции приема к перевозке до станции ее завершения.

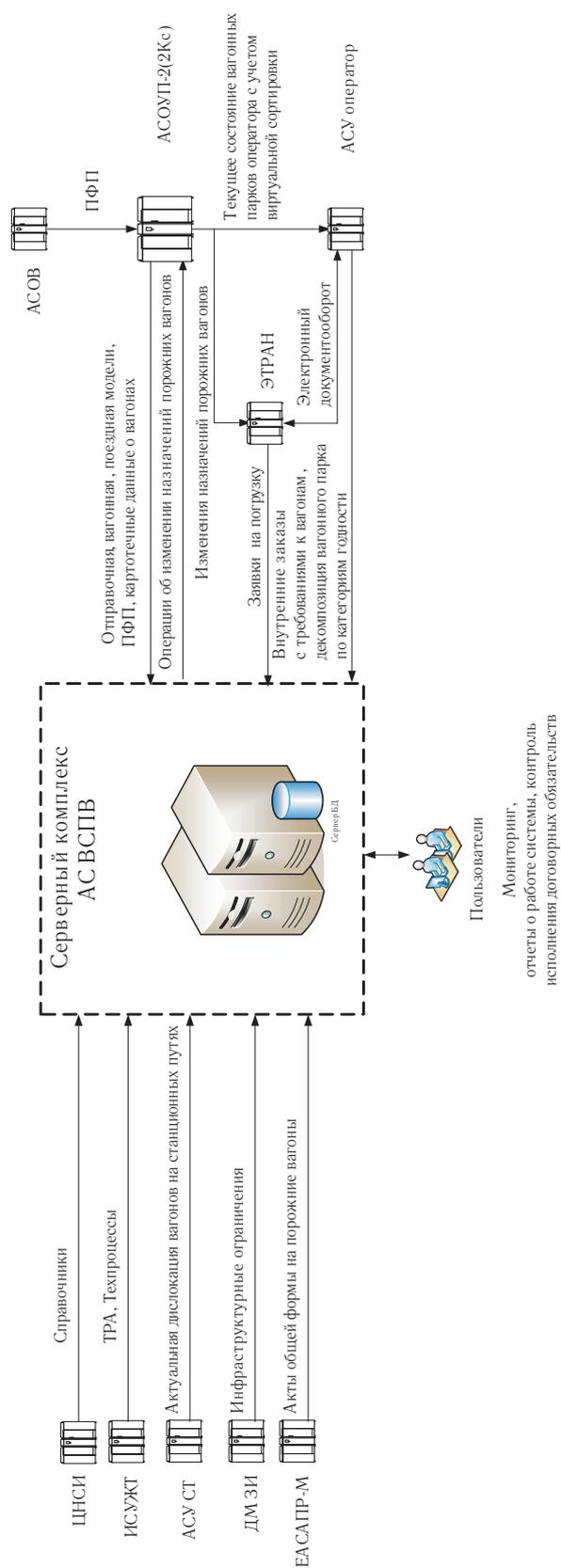


Рис. 2. Предварительная схема информационных потоков системы оперативного управления порожними вагонопотоками

Перемещение порожних вагонов на основе такой услуги будет выгодно всем участникам перевозочного процесса, т.к. позволит:

- сократить объем маневровой работы на станциях выполнения грузовых операций за счет частичной виртуальной подборки групп вагонов для прицепки и подачи;
- сократить объем и ускорить выполнение сортировочной работы на технических станциях за счет сокращения количества отцепов в составах прибывающих поездов и сокращения работы по подборке групп отцепки и подачи в формируемых поездах;
- уменьшить количество нарушений сроков доставки порожних вагонов за счет их перенаправления на востребованные назначения;
- оперативно реагировать на срочные заявки и потерю погрузочного ресурса;
- сократить суммы тарифов на перемещение порожних вагонов;
- уменьшить оборот вагонов, расходы на содержание парка вагонов и загрузку железнодорожной инфраструктуры за счет:
  - ускорения обработки порожних вагонопотоков и сокращения простоя порожних вагонов в ожидании погрузки;
  - сокращения количества повторных и встречных порожних рейсов вагонов при оперативном реагировании на корректировку плана погрузки, неравномерность продвижения порожних вагонопотоков.

Появятся дополнительные инструменты для оптимизации организации порожних вагонопотоков на сортировочных станциях, такие как виртуальное формирование замыкающих групп вагонов, виртуальное сгущение подвода вагонов для накапливаемого назначения или технического маршрута, что позволит ускорить накопление составов и сократить количество переработок на технических станциях.

Реализация технологии «Виртуальная сортировка порожних вагонов» — наукоемкий процесс, требующий принципиально новых подходов в теории организации вагонопотоков. 

## Литература

1. Осьминин, А.Т. Развитие системы организации вагонопотоков с учетом политики клиентоориентированности / А.Т. Осьминин // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО РЖД. — 2017. — №5–6. — С. 27–39.
2. Елисеев, С.Ю. Анализ наличия резервов повышения производительности использования полувагонов [Текст] / С.Ю. Елисеев, А.А. Шатохин // Бюллетень транспортной информации. — 2017. — № 10 (268). — С. 11–15.
3. Шатохин, А.А. Логистические принципы эффективного взаимодействия операторов подвижного состава и грузовладельцев / А.А. Шатохин // Наука и техника транспорта. — 2016. — № 1. — С. 79–87.
4. Ивницкий, В.А. Автоматизация планирования резерва вагонов в местах погрузки [Текст] / В.А. Ивницкий, А.С. Гершвальд, Л.А. Канарская, Н.Б. Соколов // Вестник ВНИИЖТ. — 1999. — №2. — С. 3–8.
5. Шенфельд, К.П. Задача распределения порожних вагонов под погрузку в современных условиях [Текст] / К.П. Шенфельд, Е.А. Сотников, В.А. Ивницкий // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2012. — №3. — С. 3–7.
6. Шатохин, А.А. Виртуальная сортировка: совершенствование организации пропуска и переработки порожних вагонопотоков / А.А. Шатохин // Мир транспорта. — 2019. — №4(83). — С. 80–89.
7. Апатцев, В.И. Об услуге предоставления грузовых вагонов под погрузку с учетом оптимизации порожних вагонопотоков / В.И. Апатцев, С.А. Филипченко, А.А. Шатохин // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО РЖД. — 2020. — №1–2. — С. 35–43.

# УНИВЕРСАЛИЗАЦИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА ПРИМЕРЕ ПЛАТФОРМ-ТРУБОВОЗОВ

В статье рассматриваются преимущества и недостатки, которые возникают при использовании специализированного и универсального подвижного состава, классификация грузов для перевозки по железной дороге, а также обоснование рационального использования специализированных вагонов на примере платформ-трубовозов, позволяющих повысить экономическую выгоду от их пользования.

*Ключевые слова:* универсальный подвижной состав, специализированный подвижной состав, трубовозы, платформа, платформа-трубовоз



**Д.Г. Евсеев**



**Р.С. Селезнев**

**В** развитых странах мира, уже давно столкнувшихся с избытком парка подвижного состава, преобладают специализированные вагоны. На Западе операторы ориентируются на интересы клиентов — скорость доставки и сохранность груза. В России же ситуация совсем иная. У нас большую долю занимают полувагоны, то есть парк универсальных вагонов, происходит это из-за минимизации порожнего пробега, что возможно лишь при универсализации парка. Однако не всегда возможно использование только универсального подвижного состава.

Цель данной работы — поиск путей универсализации специализированного подвижного состава на примере платформ-трубовозов, позволяющих получить больший экономический эффект.

Для достижения данной цели поставлены следующие задачи:

- выявить закономерности рационального использования универсальных и специализированных вагонов;
- выяснить, почему специализированные вагоны могут иметь больший экономический эффект по сравнению с универсальными;
- обосновать, каким образом можно снизить плату за порожние рейсы специализированного подвижного состава на примере платформ-трубовозов.

Основными критериями рационального выбора вагона являются: максимальное использование грузоподъемности или вместимости вагона, возможность механизированной погрузки и выгрузки, обеспече-

**Евсеев Дмитрий Геннадьевич**, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)), Заслуженный деятель науки РФ. Область научных интересов: транспортное машиностроение, технология производства и ремонта подвижного состава. Автор более 250 научных работ, в том числе трех учебников, пяти монографий. Имеет более 40 патентов и авторских свидетельств на изобретения.

**Селезнев Роман Сергеевич**, аспирант кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: универсальные и специализированные вагоны, эффективность их эксплуатации при перевозке различных типов грузов.

ние сохранности перевозимого груза, минимальные транспортные расходы и низкая себестоимость перевозки.

При выборе подвижного состава для перевозки конкретного груза следует учитывать несколько факторов. В первую очередь, необходимо руководствоваться действующими государственными стандартами и техническими условиями на предъявляемый к перевозке груз, в которых указаны условия транспортирования грузов, в том числе требования к выбору вида транспортных средств [1].

Показатели, которые характеризуют вагоны, описаны в Классификаторе грузовых универсальных и специализированных вагонов, эксплуатируемых на магистральных железных дорогах. По нему выбирают тип вагона, требуемый для перевозки конкретного груза [2].

Считается, что применение специализированного парка повышает производительность труда на погрузочно-разгрузочных операциях в три-четыре раза и в полтора-два раза сокращает эксплуатационные расходы, но при этом существенно увеличивается порожний пробег грузового вагона [2], поэтому, чтобы получить больший экономический эффект как для собственника вагона, так и для владельца инфраструктуры, следует универсализировать специализированный подвижной состав для минимизации обратного порожнего пробега, но каким же образом это сделать?

Рассмотрим вариант решения данной задачи на примере АО «Трубная грузовая компания» (АО «ТГК»).

Перевозку труб различных диаметров железнодорожным транспортом производят в основном в полувагонах (реже на платформах) или на специализированном подвижном составе — платформах-трубовозах в соответствии с техническими условиями (ТУ), требованиями по эскизу или проекту НТУ.

Использование специализированных платформ-трубовозов для перевозки труб упрощает погрузочно-разгрузочные работы, требует меньше реквизита крепления. Применение таких вагонов позволяет увеличить количество перевозимых труб в два раза по сравнению с полувагонами.

Для заказчика АО «ТГК» металлургическим комбинатом «Азовсталь» были произведены вагон-платформы моделей 13-1796-01 и 13-1796-03 для перевозки труб большого диаметра (от 400 мм). Платформа представляет собой цельнометаллическую сварную конструкцию, которую обрабатывает рама, опирающаяся на две двухосные тележки. В нижней части платформы к раме на кронштейнах с тормозными приборами присоединен отдельный тормоз,

состоящий из двух рычажных передач, осуществляющих торможение каждой тележки индивидуально, на одной рычажной передаче расположен стояночный тормоз, выполняющий торможение одной тележки, на концах рамы размещены автосцепные устройства, на средних балках и на консоли рамы размещены стойки для закрепления перевозимых труб и лесоматериалов. В стойках предусмотрено крепление обвязок, а на боковых балках крепятся подножки составителя, на шкворневых и промежуточных лапах установлены ложементы, предназначенные для размещения труб, они исключают контакт перевозимых труб с полом. На консолях рамы установлены щиты торцевые с поручнями для защиты перевозимой продукции от механических повреждений и загрязнений. На концевых и средних балках размещены стаканы для установки лесных стоек, предназначенных для закрепления лесо- и пиломатериалов при перевозке (рис.1).

Первоначально данные платформы создавались для перевозки труб большого диаметра ввиду ее длины и ширины погрузочного проема. В зависимости от характеристики труб загрузка в данную платформу составляет от 6 до 16 штук (рис. 2,3 длинных труб разных размеров), в то время как погрузка труб с такими же характеристиками в полувагон составляет от 4 до 6 штук. Таким образом, можно сделать вывод, что крупным производителям трубной продукции в пространстве ОАО «РЖД» выгодно использовать данные платформы не только из-за ускорения отгрузки, но и в целях экономии денежных средств на тонну продукции.

Но по сети дорог ОАО «РЖД» для специализированного подвижного состава действует унификация тарифа порожнего пробега вагона. Это значит, что после перевозки разных грузов в данном подвижном составе тариф порожнего пробега по территории Российской Федерации будет различным в зависимости от рода груза даже несмотря на то, что расстояние между пунктом А и Б будет одинаковое, в то время, как у универсального подвижного состава тариф не будет меняться.

В связи с высокими тарифами на порожний пробег у данной платформы, собственникам вагонов экономически невыгодно отправлять данные вагоны с грузами на дальние расстояния, так как затраты на порожний пробег платформы очень высокие и отрицательно влияют на экономику перевозок при действующих ценовых условиях отправки труб в регионы Дальнего Востока для строительства газопровода «Сила Сибири». Порожние пробеги достаточно велики, а грузовая база не позволяет загрузить вагоны обратно и отправить их в западную часть страны для снижения расходов. Увеличить ставку пользования

данной платформы для заказчика также невозможно, так как стоимость трубы изменится и будет являться экономически неэффективной в расчете сметы компании, которая осуществляет строительство объектов в отдаленных регионах нашей страны.

Решением данной проблемы является увеличение грузовой базы на этот подвижной состав, поскольку в регионах выгрузки данных платформ преобладающей погрузкой являются лесные грузы и пиломатериалы, а в руководстве эксплуатации данной платформы-трубовоза указано, что ее можно использовать для их (пиломатериалов) перевозки. Соответственно обратно из Сибири следует вывозить пиломатериалы.

В связи с тем, что подвижной состав разрабатывается под определенные грузы, учитывая их спецификацию, размер и требования от конечного заказчика, а не наоборот, первоочередная задача для собственника подвижного состава состоит в том, что сначала следует проанализировать рынок потребления пиломатериалов, их размеров и транспортной упаковки. Зная размеры и производственные возможности предприятия по изготовлению экспортных пиломатериалов, можно разработать оптимальную схему погрузки, которая позволит грузить в платформу-трубовоз до 125 кубических метров сухого пиломатериала, в то время как в универсальный полувагон входит всего 90 кубических метров.

Таким образом можно утверждать, что использование специализированного подвижного состава

выгодно не только для грузоотправителя за счет его преимуществ по сравнению с универсальными вагонами, но и для операторов или собственников вагонов в виду минимизации обратного порожнего пробега.

### Выводы

1. Выявлены закономерности рационального использования универсальных и специализированных вагонов.

2. Установлены условия, при которых специализированные вагоны имеют больший экономический эффект по сравнению с универсальными.

3. Обоснованы пути снижения платы за порожние пробеги специализированного подвижного состава (на примере трубовозов).



### Литература

1. ГОСТ 22235-2010 Вагоны грузовые магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие требования по обеспечению сохранности при производстве погрузочно-разгрузочных и маневровых работ (Издание с Изменением №1).

2. Транспортный портал «Гудок»// ПАСЕРБА Б. «Специализировать контейнеры, а не вагоны» [Электронный ресурс] <https://gudok.ru/newspaper/?ID=776160> (дата обращения 22.12.2020).

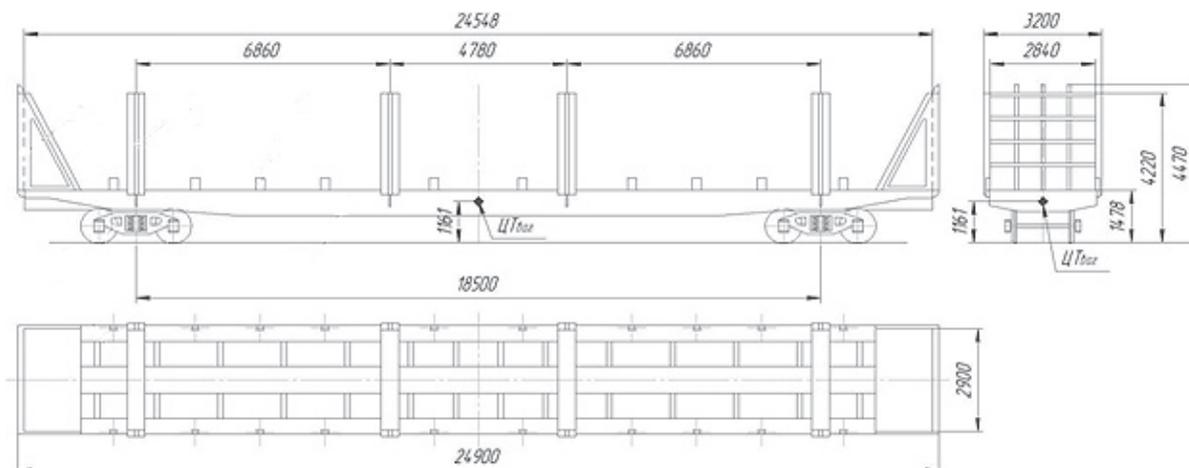


Рис. 1. Длинномерная платформа-трубовоз модели 13-1796-01

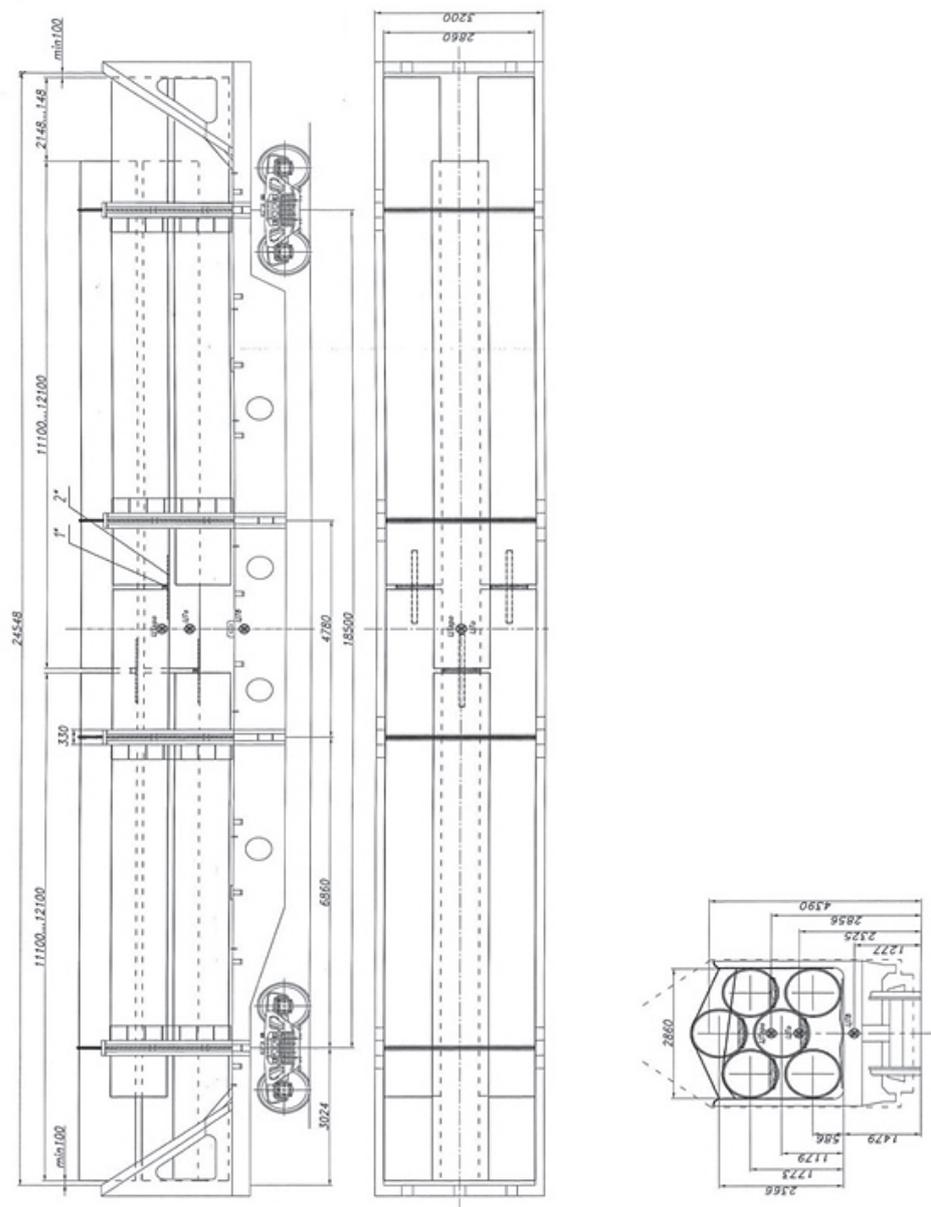


Рис. 2. Схема размещения и крепления 6 труб диаметром 1067 мм в платформы-трубовозы моделей 13-1796-01, 13-1796-03

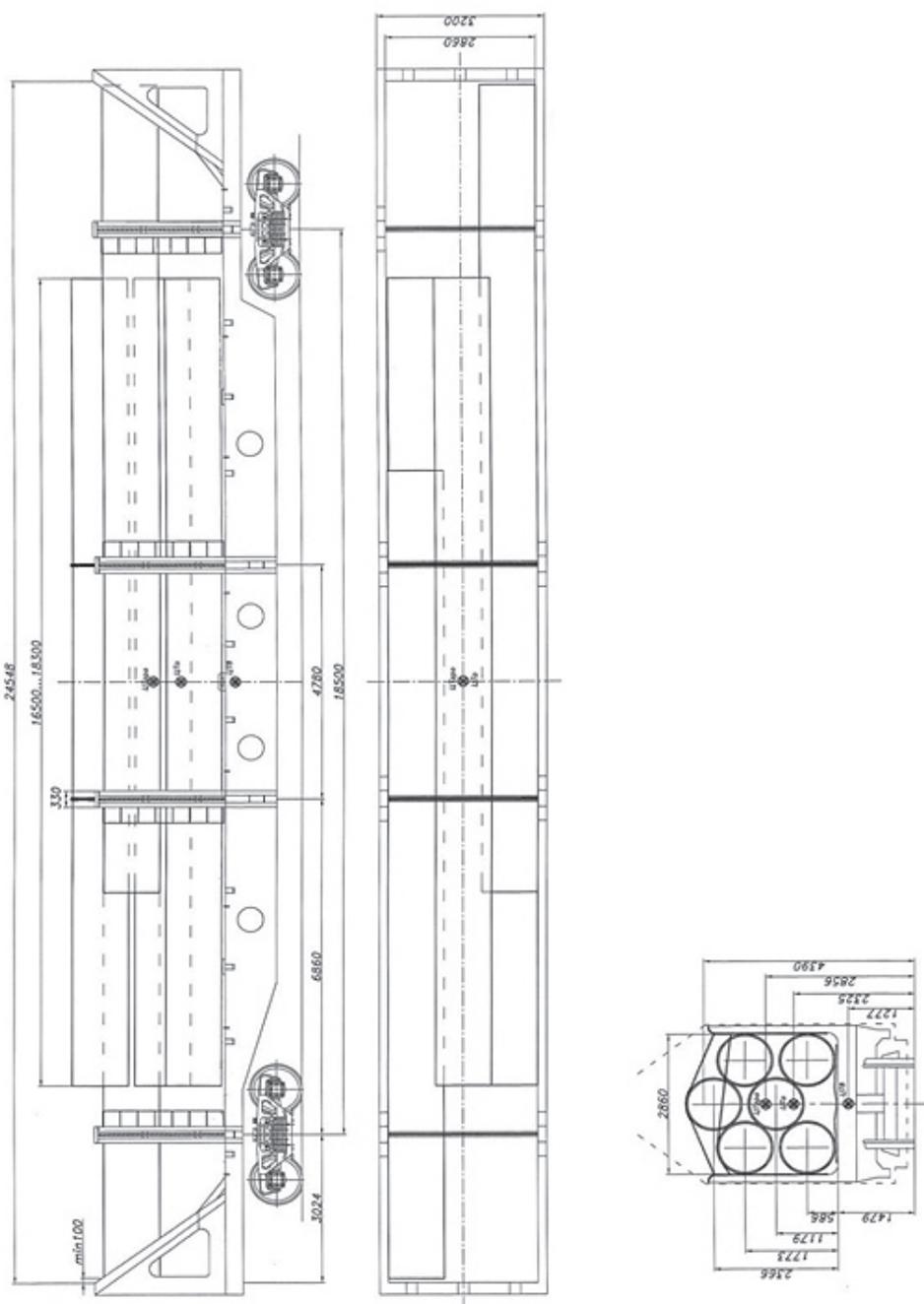


Рис. 3. Схема размещения и крепления 12 труб диаметром 1067 мм в платформе-трубовозы моделей 13-1796-01, 13-1796-03

# ОБЪЕМНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ СХЕМЫ РАСЧЕТА ТЕПЛОВЫХ ПОЛЕЙ ПО ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ПЛАСТИНЕ ПРИ НАПЛАВКЕ ШЕЙКИ ОСИ КОЛЕСНОЙ ПАРЫ



А.В. Людаговский



В.А. Полухин

Проведено изучение объемной картины соответствия выбранной схемы разложения заданного сплошного цилиндра на эквивалентную пластину. Рассчитаны температурные поля, образовавшиеся от действия движущегося точечного источника тепла на поверхности заданного сплошного цилиндра по винтовой линии заданного шага и эквивалентной пластины в зависимости от глубины исследуемого слоя.

*Ключевые слова:* электромагнитная наплавка, температура, эквивалентная пластина, источник тепла

Для изучения объемной картины соответствия выбранной схемы разложения заданного сплошного цилиндра на эквивалентную пластину [1–3], проведем исследование температурных полей, образовавшихся от действия движущегося точечного источника тепла на поверхности заданного сплошного цилиндра по винтовой линии заданного шага и, соответственно, согласно схеме разложения, эквивалентной пластины в зависимости от глубины исследуемого слоя.

Рассмотрим задачу определения температур предельного состояния точек заданного сплошного цилиндра, при наплавке шагом  $h=10$  мм, находящихся на глубине в диапазоне 0...30 мм от поверхности и на расстоянии  $x_0$  в диапазоне 0,10...170 мм позади источника теплоты при установившемся процессе. Источник теплоты, в рассматриваемый момент времени, переместился за плоскость  $I-I$ , где находятся

исследуемые точки, на угол  $\varphi=\pi/2$  (четверть окружности) (рис. 1).

Рассмотреть поставленную задачу необходимо на заданном сплошном цилиндре и эквивалентной пластине, а затем сравнить полученные результаты.

Согласно продольному размеру наплавочной поверхности (размер шейки стандартной оси вагонов широкой колеи типа РУ1) [4] и принятому шагу наплавки  $h$  получим число оборотов (проходов) (рис. 2):

$$N=L/h=170\text{мм}/10\text{мм}=17. \quad (1)$$

Теплофизические параметры и параметры наплавки, размеры, принимаем соответственно ранее изученному случаю.

При движении быстро движущегося точечного источника теплоты на поверхности заданного сплошного цилиндра по винтовой линии малого шага  $h$ , температура исследуемой точки  $B$ , выразится суммой

**Людаговский Андрей Васильевич**, доктор технических наук, профессор кафедры «Транспортное строительство» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: технологии разработки и применения композиционных материалов различных классов на транспорте, методы соединения, восстановления и изучения износа деталей, узлов и механизмов на транспорте. Автор 93 научных работ.

**Полухин Владимир Анатольевич**, начальник Брестского цеха производственного унитарного предприятия «Брествторчермет» ОАО «Белвторчермет». Область научных интересов: разработка технологических методов и установок для нанесения износостойких покрытий, изучение термических и деформационных явлений при нанесении покрытий. Автор 18 научных работ.

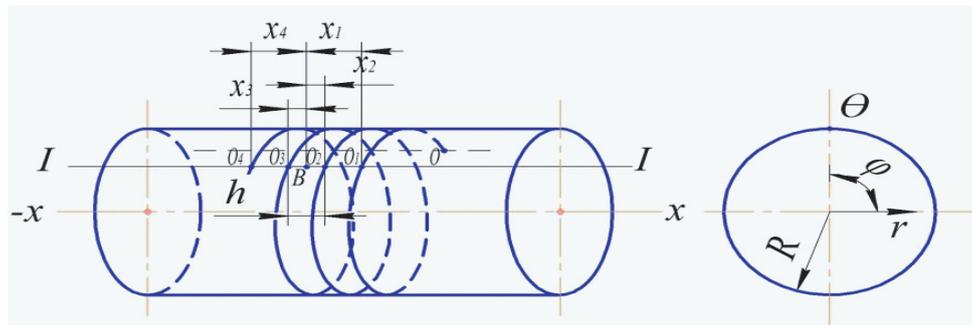


Рис. 1. Схема движения и расположения точечного источника теплоты при нагреве сплошного цилиндра

температур от мгновенных кольцевых источников, а в случае эквивалентной пластины – проходов, расположенных на различных расстояниях  $x$  от данной точки, имеющих, соответственно, различное время  $t$ , прошедшее с момента их выделения при пересечении плоскости  $I-I$ .

Для сплошного цилиндра с учетом уравнения (2):

$$T = \frac{2q}{\nu R c_p} \Phi(r, t) e^{-\frac{x^2}{4at} - bt}, \quad (2)$$

имеем

$$T_{N_0 \text{ ц}} = \frac{2q}{\nu R c_p} \sum_{n=1}^N \Phi(r, t_n) e^{-\frac{x_n^2}{4at_n} - bt_n}, \quad (3)$$

где  $x_n$  – расстояние до точки  $B$  в плоскости  $I-I$  при различных оборотах (проходах), соответственно  $x_1, x_2, x_3$  и т.д.;

$t_n$  – время, прошедшее с момента пересечения источника теплоты плоскости  $I-I$  при соответствующих оборотах (проходах), нумерация ведется от последнего;

$N$  – число оборотов (проходов);

$n$  – номер оборота (прохода).

Для эквивалентной пластины [5] с учетом уравнения (4):

$$T_{\text{пл}} = \frac{q}{\nu \delta c_p} F(z, t) e^{-\frac{x^2}{4at} - bt}, \quad (4)$$

имеем

$$T_{N_0 \text{ пл}} = \frac{q}{\nu \delta c_p} \sum_{n=1}^N F(z, t_n) e^{-\frac{x^2}{4at_n} - bt_n}. \quad (5)$$

Предельная температура  $T_{\text{пр}}$  находится в подвижных координатах, начало которых совпадает с источником теплоты и вычисляется согласно [5]:

• для заданного сплошного цилиндра:

$$T_{\text{пр ц}} = \frac{q}{c_p \nu x \pi R^2 \sqrt{1 + \frac{4ba}{\nu^2}}} e^{\frac{\nu x x_0}{2a} - \frac{\nu x |x_0|}{2a} \sqrt{1 + \frac{4ba}{\nu^2}}}; \quad (6)$$

• для эквивалентной пластины:

$$T_{\text{пр пл}} = \frac{q}{c_p \nu x F \sqrt{1 + \frac{4ba}{\nu^2}}} e^{\frac{\nu x x_0}{2a} - \frac{\nu x |x_0|}{2a} \sqrt{1 + \frac{4ba}{\nu^2}}}, \quad (7)$$

где  $\nu x$  – продольная скорость наплавки:

$$\nu x = \frac{h}{t_{\text{ог}}} \left( \frac{\text{мм}}{\text{с}} \right). \quad (8)$$

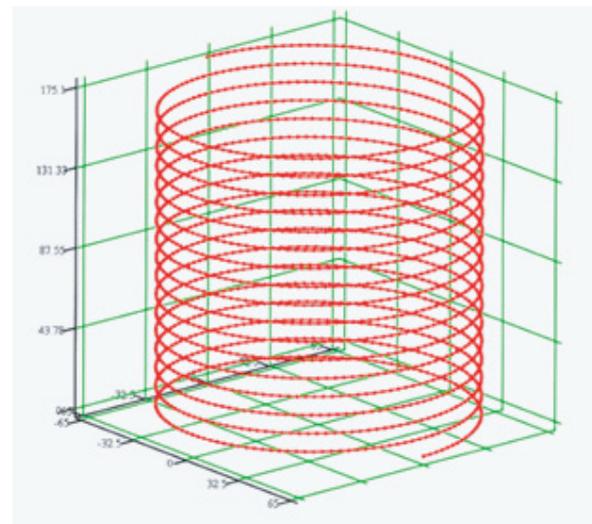


Рис. 2. Винтовые линии заданного сплошного цилиндра при принятом шаге наплавки

Температура исследуемых координатных точек с учетом значений предельной температуры, суммой температур от всех мгновенных источников и учетом начальной температуры составит:

- для заданного сплошного цилиндра:

$$T_{\text{ц}} = T_{\text{пр ц}} + T_{N_0 \text{ ц}} + T_0 ; \quad (9)$$

- для эквивалентной пластины:

$$T_{\text{пл}} = T_{\text{пр пл}} + T_{N_0 \text{ пл}} + T_0 . \quad (10)$$

Результаты расчета тепловых полей исследуемых координатных точек заданного сплошного цилиндра и эквивалентной пластины сведены в табл. 1, 2 и представлены на графиках (рис. 3, 4).

После исследования и сравнения температур координатных точек рассматриваемых случаев, полученных от действия точечного источника по винтовой линии заданного шага, определено, что результаты отличаются немногим более 5,5% от точки действия

источника на поверхности по окончании наплавки и убывает по оси  $x$  от начала наплавки до 0,06%.

При глубине исследования 30 мм, соответственно от точки действия окончания наплавки не многим более 0,8%, убывает по оси  $x$  от начала наплавки до 0,06%.

Распространение теплоты в сплошном круглом цилиндре при воздействии по его поверхности нормально-кругового или линейного источника теплоты, каким является процесс электромагнитной наплавки (далее – ЭМН) описывается сложными зависимостями. С целью упрощения расчетов, предложена схема разложения сплошного цилиндра на эквивалентную пластину, т.к. математические модели расчета тепловых полей в пластине намного проще. Данные исследования в полной мере обосновывают возможности применения схемы разложения для расчета температурных полей по воздействию процесса ЭМН на заданный сплошной цилиндр соответствующий размеру восстановления шейки оси колесной пары. 

Таблица 1

**Данные исследования температур рассматриваемых координатных точек  
сплошного цилиндра и эквивалентной пластины, полученных  
от действия точечного источника теплоты.  $x=x_0, z=0$  мм**

Расстояние по оси $x$ (мм) от последнего кольцевого источника (прохода)	Температура координатной точки заданного сплошного цилиндра, К	Температура координатной точки эквивалентной пластины, К	Отличие, %
0	543,73	513,59	5,54
10	492,74	469,80	4,66
20	427,52	413,63	3,25
30	381,59	373,74	2,06
40	356,09	351,19	1,38
50	340,60	337,19	1,00
60	329,37	326,90	0,75
70	320,74	318,91	0,57
80	314,12	312,73	0,44
90	309,08	308,01	0,35
100	305,26	304,42	0,28
110	302,36	301,69	0,22
120	300,16	299,62	0,18
130	298,49	298,05	0,15
140	297,22	296,86	0,12
150	296,25	295,97	0,09
160	295,52	295,29	0,08
170	294,96	294,78	0,06

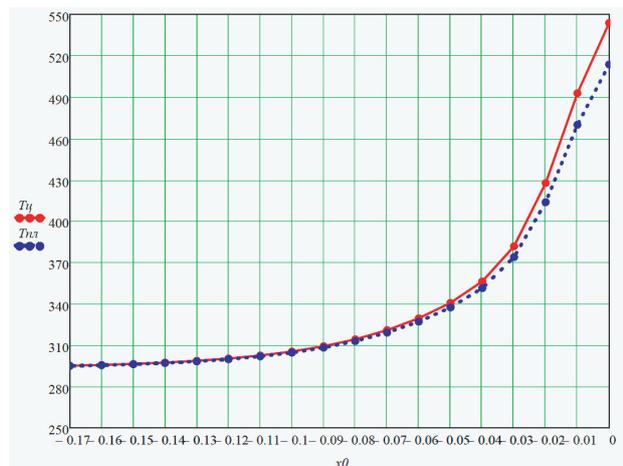


Рис. 3. График сравнения температурных полей исследуемых координатных точек сплошного цилиндра и эквивалентной пластины, согласно табл. 1

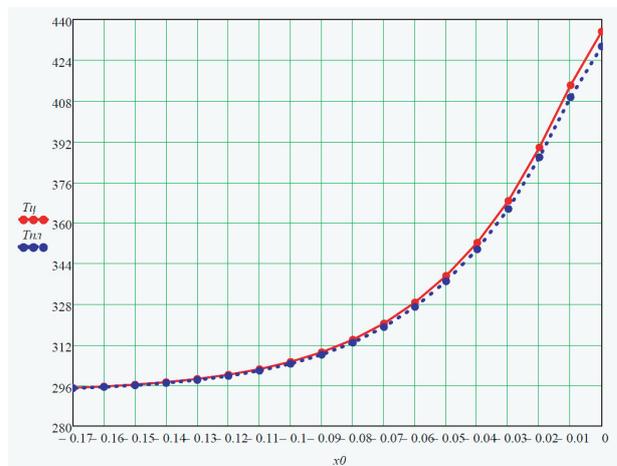


Рис. 4. График сравнения температурных полей исследуемых координатных точек сплошного цилиндра и эквивалентной пластины, согласно табл. 2.

Таблица 2

**Данные исследования температур рассматриваемых координатных точек сплошного цилиндра и эквивалентной пластины, полученных от действия точечного источника теплоты при заданном количестве оборотов (проходов) в исследуемом диапазоне по оси  $x$  на расстоянии  $x_0$  позади источника теплоты, глубиной исследования  $z=30$  мм, при установившемся процессе.  $x=x_0, z=30$  мм**

Расстояние по оси $x$ (мм) от последнего кольцевого источника (прохода)	Температура координатной точки заданного сплошного цилиндра, К	Температура координатной точки эквивалентной пластины, К	Отличие, %
0	435,25	429,39	1,35
10	414,13	409,39	1,14
20	389,63	385,73	1,00
30	368,59	365,37	0,87
40	352,14	349,50	0,75
50	339,07	336,91	0,64
60	328,60	326,83	0,54
70	320,32	318,88	0,45
80	313,90	312,72	0,38
90	308,98	308,01	0,31
100	305,21	304,42	0,26
110	302,34	301,69	0,21
120	300,15	299,62	0,18
130	298,48	298,05	0,14
140	297,22	296,87	0,12
150	296,25	295,97	0,09
160	295,52	295,29	0,08
170	294,96	294,78	0,06

## Литература

1. Распределение температур на границе раздела «материал-покрытие» от быстродвижущегося источника тепловыделения при электромагнитной наплавке/ Х.А. Дианов, А.В. Людаговский, А.А. Локтев, В.А. Полухин, В.Г. Дмитриев, Г.В. Москвитин// Проблемы машиностроения и надёжности машин. Ин-т машиноведения им. А.А.Благонравова. —Изд-во РАН. —2019. —№3. —С. 85–95.
2. Расчетные параметры температурных полей в поверхностном слое деталей в процессе электромагнитной наплавки/ Х.А. Дианов, А.В. Людаговский, А.А. Локтев, В.А. Полухин, В.С. Соколов //Наука и техника транспорта. —2018. —№1. —С. 73–78.
3. Построение математической модели температурного поля при наплавке/ А.В. Людаговский, А.А. Локтев, В.А. Полухин, В.С. Соколов, К.Д. Степанов// Сборник вопросов прикладной математики и проблема взаимодействия твердых тел с жидкой и газовой средой. Москва 16–18.10.2017 г. ИПМех РАН.
4. Техническая информация «Регионального Центра Инновационных Технологий». Классификатор неисправностей вагонных колесных пар и их элементов 1.20.002-2007.
5. Теоретические основы сварки [Текст ]: уч. пос. /В.В. Фролов, В.А. Винокуров, В.Н. Волченко, В.А. Парухин, И.А. Арутюнова; Под ред. проф. В.В. Фролова. —М.: Высшая школа, 1970. —592 с.

# ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ И ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ДИНАМИКИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

В статье рассмотрены тенденции развития динамики вагонов. Описаны основные научные школы этой дисциплины. Проведен обзор программных комплексов, применяемых для решения задач динамики. Описаны подходы к осуществлению компьютерного моделирования.



И.К. Сергеев



С.В. Беспалько

*Ключевые слова:* динамика вагонов, математическое моделирование, компьютерное моделирование, программные комплексы

Предметом исследования динамики вагона являются физические процессы, возникающие при взаимодействии ходовых частей подвижного состава с рельсами. От характера динамических процессов, сил и перемещений, возникающих по их причине, зависят безопасность движения поездов, расходы на эксплуатационные нужды отрасли и многие другие показатели эффективности перевозочного процесса. В связи с этим, решение таких задач динамики, как оценка изменений, вносимых в конструкцию изделий, а также создание и оптимизация новых конструктивных решений, остается актуальным на протяжении всего времени функционирования железных дорог.

Корректное построение математической динамической модели основывается на четком представлении процесса и анализе сил и взаимодействий, возникающих при движении подвижного состава.

С момента создания первых железных дорог инженеры начали свои исследования в области динамики, а самостоятельность науки приобрела к началу XX века. К этому времени относятся самые первые значительные работы российских и зарубежных ученых А.М. Годыцкого-Цвирко [10], Г. Марье [15], Х. Хеймана [24] и др. В этих работах исследовались особенности взаимодействия подвижного состава и пути, были разработаны методики определений напряжений и сил, возникающих в процессе взаимодействия.

Классификация колебаний, внесшая существенный вклад в аналитический метод определения частот свободных колебаний подвижного состава, была создана Н.Е. Жуковским. Так же его работы содержат методики определения и учета влияния на безопасность движения поездов сил трения, возникающих в зонах контакта колес и рельсов [11].

**Сергеев Иван Константинович**, ассистент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (ИТТСУ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: динамика и прочность подвижного состава. Автор девяти научных работ.

**Беспалько Сергей Валерьевич**, доктор технических наук, профессор кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (ИТТСУ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: динамика и прочность подвижного состава. Автор 60 научных работ.

Изучению зоны упругого скольжения в системе взаимодействия «колесо-рельс» посвящены работы Ф. Картера, который известен тем, что впервые обратил внимание научного сообщества на явление, названное им крипом [28].

В трудах Г. Марье были исследованы физические процессы, влияющие на плавность хода, и проведена оценка уровней ускорений элементов вагонов и локомотивов. Существенным выводом Г. Марье была идея о необходимости увеличения статического прогиба ходовых частей с целью повышения плавности хода. Марье впервые включил в математические модели упругие элементы.

Дальнейший вклад в стремительно развивавшуюся науку внесли М.В. Винокуров [9], А. Патер [29], М.Ф. Вериго [7], В.Б. Медель [16] и прочие известные деятели науки той эпохи.

Учитывать силу ветра при динамических расчетах, а также корректировать модели с учетом эксцентриситета колесной пары было впервые предложено Г.М. Шахунянцом [27]. Им было отмечено влияние на динамические процессы сил, передаваемых через сцепку, разработаны расчетные схемы с учетом зазоров в скользунах тележек и колебаний центра тяжести перевозимого груза.

Совершенствование конструкций подвижного состава привело к необходимости изучения вопросов безопасности движения поездов при отличающихся от нормативных геометрических параметрах деталей и узлов вагонов. Работы исследователей под руководством С.В. Вершинского и Л.А. Шадура, содержат математические модели вагонов на тележках с числом осей более двух и методы расчета целого класса применяемых в вагоностроении упругих элементов [8].

Представителями этой группы ученых являются такие деятели науки как Е.П. Корольков [13], Г.И. Петров [20], В.Н. Филиппов [23] и др.

В работах П.С. Анисимова изложена методика непосредственной оценки сил трения в узлах гасителей колебаний тележки, получены зависимости сил трения от динамических воздействий при различных перемещениях фрикционного клина, подчеркнута важность учета изменения модуля силы трения при решении исследовательских задач [1]. Позднее, П.С. Анисимовым в совместной работе с В.Д. Хусидовым был описан алгоритм, позволявший с высокой точностью вычислять силы сухого трения. Указанный алгоритм применялся во многих математических моделях.

Большую роль в развитии методологии расчета динамики подвижного состава играют труды ученых АО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»). К примеру,

вопросам взаимодействия пути и подвижного состава посвящены труды М.Ф. Вериго [7].

В Петербургском государственном университете путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС) так же, как и в представленных выше организациях, была сформирована научная школа под руководством И.И. Челнокова. В работах И.И. Челнокова отмечена нелинейность рабочей характеристики фрикционных клиньев и получены обобщенные выражения для расчета сил трения с учетом направления перемещения узлов. Описано влияние химического состава, формы поверхности клина и планки на коэффициент трения этой пары [26]. Подробное изучение элементов вагонной тележки 18–100, включая пару трения «фрикционный клин–планка» было проведено в работе В.А. Кошелева [14]. Были освещены недостатки применяющихся демпферов вместе с возможными путями их устранения. Подробная модель тележки, учитывающая специфику работы гасителей колебаний, была предложена Ю.К. Мустафаевым и Л.В. Кудюровым [18]. В их работе отражена специфика движения вагона с гасителем колебаний, имеющим неисправность. Влияние конструкции рессорного подвешивания на энергетические затраты исследовалось в работе А.Н. Комаровой и Ю.П. Бороненко [12].

Следует отметить, что вопросы по изучению фрикционных клиньев обладают самой высокой степенью научной разработанности среди прочих объектов исследования вагонов с фрикционной связью. Вопросы механики элементов подпятниковой зоны, силы трения, действующей на шкворень изучены недостаточно подробно. К числу немногочисленных работ, посвященных этим вопросам, относится работа С.В. Павлова [19].

Для оценки исследований и моделей, получаемых учеными в процессе изучения динамики подвижного состава, применялся метод натурных испытаний, однако негативным фактором применения данного метода для подтверждения качества разрабатываемых методик является дороговизна натурных испытаний и их продолжительные сроки.

С развитием средств вычислительной техники широкое распространение получил метод компьютерного моделирования, позволяющий автоматизировать расчеты, быстро оценивать результаты исследований и моделировать различные динамические процессы, изменяя входные параметры процессов.

Очевидно, что для компьютерного моделирования необходимым условием является наличие адекватной математической модели, которая создается на начальном этапе исследования и включает в себя зависимости, необходимые для качественной программной реализации.

После составления математической модели наступает этап ее алгоритмизации. На этом этапе исследователю приходится учитывать особенности той среды, где он намерен создавать компьютерную модель. Тут возможны следующие варианты:

1) использование пакета программ, рассчитанных на решение задач конкретной научной области;

2) использование среды программирования и осуществление программной реализации исследуемого явления.

В настоящее время все более широкую популярность приобретает первый вариант компьютерного моделирования. Такие программные комплексы как UM (Универсальный механизм), «Дионис», ADAMS и другие позволяют решать широкий спектр задач динамики. Помимо этого, такие программные комплексы являются оптимизированными в вопросах экономии вычислительной мощности при расчетах.

ADAMS является одним из первых программных комплексов для решения задач динамики систем твердых тел. Самое первое руководство пользователя этого программного комплекса было издано еще в 1987 году. Вскоре программный комплекс получил пакет модулей, касающихся исключительно железнодорожной динамики. Это дополнение было разработано при содействии железных дорог Нидерландов и было названо ADAMS/Rail. Данная модификация комплекса предлагает исследователю широкий набор методов моделирования в зависимости от целей исследования, а также позволяет вносить изменения в собственный код, что рассчитано на опытных пользователей, владеющих программированием, и позволяет уточнять математические модели на этапе алгоритмизации. Последняя модификация комплекса известна под названием VI-Rail.

Комплекс A'GEM был создан в Канаде, в университете г. Кингстон. Этот комплекс отличается детализированным графическим интерфейсом и позволяет представлять результаты с использованием широкого спектра средств анимации.

Германским авиационным и космическим агентством в девяностых годах XX века был разработан комплекс моделирования динамики систем твердых тел. Особенности программного комплекса являются наличие подвижной и неподвижной систем координат, а также возможность использовать нелинейные и квазилинейные модели сил в точке контакта колес с рельсами при моделировании. С помощью этого программного комплекса успешно решалось множество задач железнодорожной динамики в том числе и в нашей стране. Так, с помощью программного комплекса Medupa были определены динамические пока-

затели отечественного скоростного поезда «Сокол». Руководил работами Ю.П. Бороненко [6].

К числу прочих программных комплексов для моделирования динамики систем твердых тел относится Nucras, который позволяет создавать сложные модели механических систем и точно определять их механические параметры. Комплекс показывает хорошие результаты при определении коэффициента устойчивости от вкатывания колеса на головку рельса.

Разработчики компании «Британские железные дороги» в девяностых годах XX века создали свой программный комплекс, который носит название Vampire. Этот комплекс очень популярен во всем мире, однако имеет существенный недостаток — отсутствие возможности учета влияния клиновых гасителей колебаний, а поскольку именно такие гасители применяются в трехэлементных тележках на железных дорогах России, то Vampire не позволяет создавать модели отечественных грузовых тележек. Несмотря на это, комплекс не уступает в точности своим конкурентам.

Особенностью программного комплекса Omnisim является возможность построения динамических моделей деформируемых тел. Комплекс был успешно применен в 2002 году железнодорожной администрацией США для формирования годового отчета по безопасности движения поездов [30].

Одним из наиболее популярных отечественных программных комплексов является «Универсальный механизм». Этот комплекс был создан в восьмидесятых годах XX века в Брянском государственном техническом университете. Руководителем работ по созданию этого продукта является профессор Д.Ю. Погорелов [21]. Главной идеей разработки комплекса являлось создание инструмента для анализа механических систем. Однако вскоре комплекс получил расширение, в состав которого входил пакет, специально созданный для разработки моделей динамики железнодорожного транспорта. В этот пакет входили инструменты моделирования неровностей железнодорожного пути, различные профили колес и рельсов и др. Кроме того, комплекс позволяет решать системы уравнений без применения их линеаризации, что способствует высокой точности вычислений. Рельс является безынерционным элементом и определение положения рельса относительно колеса опирается на решение систем нелинейных уравнений равновесия. Разработаны теории контакта колес с рельсами и имеется возможность применять модели одноточечного контакта, двухточечного контакта, гребневого контакта, отрыва гребня и режима вкатки колес на рельсы. «Универсальный механизм» успешно применяется отечественными учеными для исследования

задач динамики [22]. Михальченко Г.С. использовал пакет программ «Универсальный механизм» в работе по определению параметров пространственных колебаний подвижного состава [17]. Гарантом адекватности полученных выходных данных является факт прохождения манчестерских тестов этим программным продуктом.

Разработкой программного комплекса «Дионис» занимались исследователи кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» МИИТа под руководством Г.И. Петрова. Данное программное обеспечение нуждается в доработке, поскольку не позволяет автоматически осуществлять синтез уравнений движения.

К основным направлениям развития существующих комплексов относится повышение точности расчетов, кроме того, рост вычислительных мощностей позволяет перейти к решению задач моделирования движения вагонов и локомотивов в составе поезда.

Второй путь алгоритмизации расчетной модели заключается в использовании разработчиком среды программирования и осуществлении программной реализации исследуемого явления. Такой подход, хоть и является более затратным по времени, но позволяет применять узкоспециализированные методики для конкретизации получаемых результатов. Кроме того, он имеет более широкие возможности визуализации данных (при условии наличия соответствующих навыков у создателя программы).

Популярной средой разработки программного обеспечения является среда Borland C++ Builder. Эта среда позволяет осуществлять построение компьютерной модели на всех этапах ее разработки. Благодаря широким возможностям визуализации и осуществлению программирования путем создания отдельных компонентов — «объектов», программы в среде Borland C++ Builder получаются лаконичными, обладая в то же время всеми необходимыми возможностями. Это положительное свойство вносит вклад в удобство использования программ и упрощает этап

оптимизации уже созданных продуктов. Кроме того, среда Borland C++ Builder постоянно развивается и на рынок поступают новые версии, предоставляющие широкие возможности моделирования любых физических процессов.

Примером использования среды может служить работа В.И. Богачева, который программными средствами Borland C++ Builder реализовал математическую модель колебаний жидкости в котле цистерны [3].

Для разработки собственных программных продуктов исследователь должен обладать знаниями и навыками в программировании. Такой подход хоть и требует дополнительных навыков и временных затрат на написание и отладку программы, но в то же время позволяет осуществлять контроль этапов расчета на всех стадиях проектирования.

В заключение необходимо отметить, что динамика вагонов является одной из важных железнодорожных наук, которая имеет прямое отношение к безопасности движения поездов и постоянно развивается. Развитие компьютерных технологий позволило проводить численные эксперименты при помощи аппарата математического моделирования. С помощью программных комплексов исследователь, обладающий навыками математического моделирования и познаниями в области динамики способен создавать компьютерные модели, не углубляясь в вопросы прикладного программирования. Однако такой подход не лишен недостатков, одними из которых являются отсутствие «гибкости» комплекса при моделировании и отсутствие возможности контроля процесса вычислений, поскольку программный комплекс является не чем иным, как «черным ящиком» для исследователя. Использование сред разработки программного обеспечения является дополнительным методом компьютерного моделирования, позволяющим получать результаты вычислений с учетом конкретных особенностей исследуемых процессов и моделей. 

## Литература

1. Анисимов, П.С. Гасящий потенциал фрикционного клина / П.С. Анисимов // Мир транспорта. — 2010. — Т. 8, № 1 (29). — С. 32–39.
2. Беспалько, С.В. Разработка и анализ моделей повреждающих воздействий на котлы цистерн для перевозки криогенных продуктов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.07 / Сергей Валерьевич Беспалько; МИИТ. — М., 2000. — 427 с.
3. Беспалько, С.В. Исследование колебаний жидкости в котле цистерны с применением тригонометрических рядов / С.В. Беспалько, В.И. Богачев // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты. VII международная научно-техническая конференция: тезисы докладов. — СПб., 2011. — С. 29–32.

4. Блохин, Е.П. Расчеты и испытания тяжеловесных поездов / Е.П. Блохин, Л.А. Манашкин, Е.Л. Стамблер и др.; Под ред. Е.П. Блохина. — М.: Транспорт, 1986. — 265 с.
5. Богомаз, Г.И. Нагруженность вагонов-цистерн при переходных режимах движения поездов: монография / Г.И. Богомаз, Н.Е. Науменко, А.Н. Пшинько, С.В. Мямлин. — К.: Наукова думка, 2010. — 216 с.
6. Бороненко, Ю.П. Опыт проектирования трехэлементных тележек [Текст] / Ю.П. Бороненко, А.М. Орлова // Железнодорожный транспорт. — 2006. — №5. — С. 58–62.
7. Вериго, М.Ф. Вертикальные силы, действующие на путь при прохождении подвижного состава / М.Ф. Вериго // Тр. ВНИИЖТ. — 1955. — Вып. 19. — С. 25–288.
8. Вершинский, С.В. Динамика вагона: Учебник для вузов ж.-д. транспорта / 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.
9. Винокуров, М.В. Исследование колебаний и устойчивости вагонов / М.В. Винокуров // Тр. ДИИТ. — 1940. — Вып. 12. — С. 3–292.
10. Годыцкий—Цвирко, А.М. Взаимодействие пути и подвижного состава железных дорог / А.М. Годыцкий—Цвирко. — М.: Гострансиздат, 1931. — 214 с.
11. Жуковский, Н.Е. Полное собрание сочинений / Н.Е. Жуковский. Т.7. Колебания паровоза на рессорах. — М.: Мир, 1975. — 541 с.
12. Комарова, А.Н. Сравнительная оценка сопротивления движению грузовых вагонов на тележках различных типов / А.Н. Комарова, Ю.П. Бороненко // Транспорт Российской Федерации. — 2014. — №3 (52). — С. 69–72.
13. Корольков, Е.П. Снижение износа колес железнодорожного подвижного состава при конструктивных изменениях ходовых частей: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.07 / Е.П. Корольков; Моск. ун-т путей сообщения. — Москва, 1997. — 48 с.
14. Кошелев, В.А. Грузовой вагон: связи, скорость и свойство устойчивости невозмущенного движения / В.А. Кошелев // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2006. — №4 (9). — С. 71–82.
15. Марье, Жорж. Взаимодействие пути и подвижного состава / Г. Марье; Пер. с фр. К.К. Дмоховского, А.Н. Шумилова; Под ред. Н.А. Бредихана, Н.Т. Митюшина, Ф.В. Пугачевского. — Москва; Ленинград: Госжелдориздат, 1933. — 338 с.
16. Медель, В.Б. Динамика электровоза: Допущено Центр. упр. учеб. заведениями НКПС в качестве учеб. пособия для электротяговых втузов / В.Б. Медель. — Москва: изд. и 5 тип. Трансжелдориздата, 1937. — 415 с.,
17. Михальченко, Г.С. Исследование пространственных колебаний рельсовых экипажей с использованием программного комплекса «Универсальный механизм» / Г.С. Михальченко, Д.Ю. Погорелов, В.А. Симонов, А.В. Круговых, В.В. Симонов. Тез. докл. IX Междунар. конф. — ДГТУ, 1996. — С. 107–108.
18. Мустафаев, Ю.К. Динамика тележки грузового вагона с учётом параметров демпфера сухого трения / Ю.К. Мустафаев, Л.В. Кудюров // Известия Самарского научного центра РАН. — 2011. — Т.13, №4 — 3с. — С. 226–228.
19. Павлов, С.В. Оценка динамической нагруженности шкворневых узлов вагонов-цистерн и совершенствование их конструкции: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / Сергей Васильевич Павлов; Ин-т инж. ж.-д. транспорта. — Санкт-Петербург, 1993. — 74 с.
20. Петров, Г.И. Построение уточненной компьютерной модели грузового вагона / Г.И. Петров, С.И. Порядин, С.В. Калетин, О.И. Паначев, М.В. Сапетов, А.О. Иванов // МИИТ. — 2013. — XIV научно-практическая конференция «Безопасность движения поездов». — С. 7–35.
21. Погорелов, Д.Ю. Компьютерное моделирование динамики рельсовых экипажей / Д.Ю. Погорелов // Сб. докл. междунар. конгресса «Механика и трибология транспортных систем — 2003»: В 2 т. — Ростов-на-Дону, 2003. — Т. 2. — С. 226–232.
22. Погорелов, Д.Ю. Моделирование контактных взаимодействий в задачах динамики систем тел / Д.Ю. Погорелов, А.Э. Павлюков, Т.А. Юдакова, С.В. Котов // Динамика, прочность и надежность транспортных машин: Сб. науч. тр.; Под ред. В.И. Сакало. — Брянск: БГТУ, 2001. — С. 11–23.
23. Филиппов, В.Н. Исследование поведения вагонов при аварийном соударении: (Анализ аварийных ситуаций с цистернами) / В.Н. Филиппов, Е.А. Радзиховский // Вестник ВНИИЖТ. — 1994. — №3. — С. 9–12.
24. Хейман, Х. Направление железнодорожных экипажей рельсовой колеи / Х. Хейман // Трансжелдориздат. — 1957. — 416 с.

25. Хусидов, В.Д. Методика компьютерной оценки безопасности движения подвижного состава / В.Д. Хусидов, Ю.С. Ромен, Г.И. Петров [и др.] // МПС. – 1999. – С. 105.
26. Челноков, И.И. Гасители колебаний вагонов / И.И. Челноков, Б.И. Вишняков, В.М. Гарбузов, А.А. Эстлинг. – Москва: Трансжелдориздат, 1963. – 177 с.
27. Шахуняц, Г.М. Железнодорожный путь: Учебник для вузов ж.-д. транспорта / Г.М. Шахуняц. – Москва: Трансжелдориздат, 1961. – 615 с.
28. Carter F.W. On the action of locomotive driving wheel // Proc. Roy. Soc. A. – 1928. – Vol. 121. – P. 151–157.
29. Pater A.D. de. The approximate determination of the hunting movement of a railway vehicle by aid of the method of Krylov and Bogolubov // App. Sci. Res. Sec. A. – 1961. – Vol. 10. – P. 205–228.
30. Safety of Railroad Passenger Vehicle Dynamics. Final Summary Report. U.S. Department of Transportation, Federal Railroad Administration, 2002, 53 с.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ И СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИБРИДНОГО ЭЛЕКТРОБУСА

Приведены результаты численного моделирования тягово-энергетических режимов движения гибридного электробуса на основании разработанной математической модели и программного обеспечения.

Предложены методики расчета и выполнен сравнительный технико-экономический анализ в части эксплуатационных затрат на энергоносители и системы электроснабжения для трех видов современного наземного общественного транспорта.

*Ключевые слова:* гибридный электробус, аккумуляторный электробус, троллейбус, дизельный двигатель, тормозная рекуперация



**А.Ф. Слутин**



**Л.Г. Ручкина**

**В** связи с появлением новых видов общественного автономного электротранспорта, обострением конкурентной борьбы с традиционными видами транспорта, представляется актуальным сопоставление энергетической эффективности транспортных средств и стоимостных затрат на энергоносители.

Если рассматривать троллейбусные сети и замену их на аккумуляторные электробусы, то в обоих случаях необходимо учитывать дополнительные эксплуатационные расходы, связанные с содержанием систем внешнего электроснабжения и энергетическими потерями в них: контактная сеть; тяговые подстанции; зарядные станции и т.п. Затраты на эксплуатацию троллейбусных сетей в среднем составляют до 25 % от затрат электроэнергии «на движение» [1].

При эксплуатации электробусов, помимо этого требуется существенное превышение парка машин для обслуживания того же пассажиропотока из-за продолжительного нахождения на конечных стоянках на зарядных станциях (40 мин движение и 30 мин заряд батареи).

К настоящему времени нет достаточно эффективного бортового источника электромагнитной энергии для общественного транспорта, а также соответствующих станций для быстрого заряда батарей.

Поэтому моделирование режимов движения гибридного транспортного средства, занимающего промежуточное энергетическое положение между традиционными и новыми, автономными видами электротранспорта, с учетом изменяющихся цен на энер-

**Слутин Александр Флавиевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрификация и электроснабжение» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: приводные электромеханизмы; системы тягового электропривода, в т.ч. гибридные энергетические установки транспортных средств. Автор 17 научных работ. Имеет три авторских свидетельства СССР на изобретения и один патент РФ на полезную модель.

**Ручкина Любовь Григорьевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрификация и электроснабжение» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: метрология, электротехника. Автор 37 научных работ.

**Бугреев Виктор Алексеевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электрификация и электроснабжение» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: надежность сложных технических систем. Автор более 70 научных работ, в том числе трех монографий. Имеет 16 патентов на изобретения.

гоносители, может служить базовым критерием при сопоставлении эксплуатационных расходов различных видов наземного общественного транспорта.

Ниже приведены результаты численного моделирования режимов движения гибридного электробуса («последовательный гибрид») с техническими характеристиками физической модели, сопоставимыми с характеристиками современных троллейбусов и автобусов по массе, пассажироместности и скорости сообщения.

В процессе торможения используется режим рекуперации на бортовой накопитель (например, ионисторы) с автоматическим замещением на торможение механическим тормозом при наступлении ограничений по условиям электродинамического торможения (рис. 1).

Разработана математическая модель и ПО (Visual Basic), которые позволяют проводить многовариантные исследования с различными конструктивными константами транспортного средства, на различном профиле, с учетом полиномов основного сопротивления движению «на выбеге» и в режиме «тяги», а также с учетом изменяющихся «потерь» тягового электродвигателя и тягового редуктора (рис. 2).

«На печать» выведены следующие параметры:

- $t$  – время, с момента начала движения, с;
- $v$  – скорость движения на указанный момент времени, м/с;
- $a$  – ускорение, м/с<sup>2</sup>;
- $f$  – касательная сила тяги и тормозная при рекуперации, Н;

$f_3$  – касательная сила от механического тормоза, Н;

$I$  – ток тягового электродвигателя (ТЭД), А;

$u$  – напряжение ТЭД, В;

$e_1$  – электроэнергия, затраченная от бортовых источников с момента начала движения, Дж;

$e_2$  – электроэнергия, полученная от тормозной рекуперации с момента начала движения, Дж;

$p$  – электрическая мощность ТЭД, Вт;

$s$  – пройденный путь с начала движения, м.

На рис. 3 показаны результаты численного моделирования движения гибридного электробуса на участке пути между двумя остановочными пунктами на расстоянии около 1 км.

В данном варианте производился разгон до 50 км/ч «на площадке», затем сброс скорости до 40 км/ч, поддержание этой скорости с последующим остановочным торможением (пройденный путь 950 м):

- средняя техническая скорость – 36 км/ч;
- скорость сообщения – 29,4 км/ч (стоянка на остановке 20 с);
- возврат электроэнергии от тормозной рекуперации – 16%;
- результирующий расход электроэнергии («на жажимах» ТЭД) – 3,95 МДж.

В следующем варианте (табл. 1) производился разгон до 60 км/ч «на площадке» с последующим остановочным торможением (пройденный путь 950 м):

- средняя техническая скорость – 40,5 км/ч;
- скорость сообщения – 32,4 км/ч (стоянка на остановке 20 с);

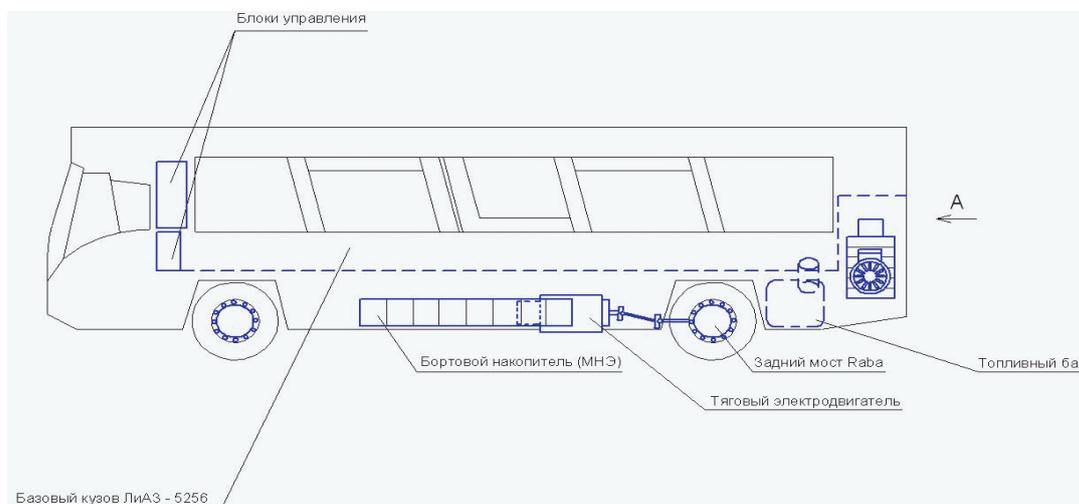


Рис. 1

А.Ф. Слутин, Л.Г. Ручкина, В.А. Бугреев

«МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ И СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИБРИДНОГО ЭЛЕКТРОБУСА»

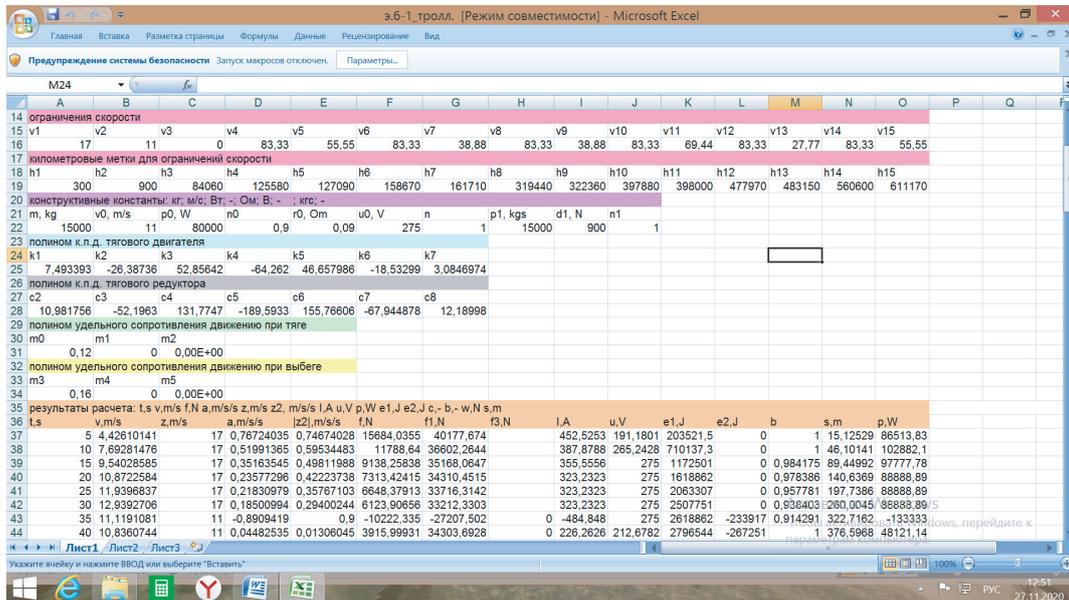


Рис. 2

Таблица 1

$I, A$	$U, B$	$e1, Дж$	$e2, Дж$	$s, м$	$p, Вт$
323,2323	275	4729973	0	621,2289	88888,89
323,2323	275	5174418	0	701,301	88888,89
-484,848	275	5218862	-346760	777,885	-133333
-420,202	272,5213	5218862	-993167	835,3041	-114514
-387,879	110,9807	5218862	-1335406	869,6074	-43047

• возврат электроэнергии от тормозной рекуперации – 25,6%;

• результирующий расход электроэнергии (на зажимах ТЭД) – 3,88 МДж.

Как видно из сравнения результатов, при имеющейся разгонной динамике, с ростом средней технической скорости (до определенных пределов), результирующий расход электроэнергии имеет тенденцию к снижению, вследствие нелинейного, опережающего роста эффективности рекуперативного торможения.

В качестве примера расчета расхода топлива гибридным электробусом, на измеритель 100 км, примем среднее значение для рассмотренных выше вариантов при одинаковом минимальном удельном расходе топлива «дизелем» и газопоршневым двигателем компенсирующего генератора на уровне 0,24 кг/эфф.кВт·ч:

$$G'_{Ti} = (e1 - e2) / (3,6 \cdot 10^{-6}) / (\eta_r \cdot \eta_{ст}) \cdot g_e \cdot 100 / s_i,$$

где  $G'_{Ti}$  – массовый расход топлива на 100 км пробега, вычисленный по результатам численного моделирования, при пробеге  $s_i$ , км, между двумя остановочными пунктами, кг/100 км;

$\eta_r = 0,95$  – КПД компенсирующего генератора (45÷55 кВт);

$\eta_{ст} = 0,97$  – КПД статического преобразователя;

$g_e = 0,195 \div 0,3$  кг/эфф.кВт·ч – минимальный удельный эффективный расход топлива дизельного двигателя;

$g_e = 0,24$  кг/эфф.кВт·ч – минимальный удельный эффективный расход топлива газопоршневого двигателя внутреннего сгорания (ДВС) при работе на пропане [2;3];

$g_e = 0,22$  кг/эфф.кВт·ч – минимальный удельный эффективный расход топлива газопоршневого ДВС при работе на метане [2;3].

По результатам моделирования получено:

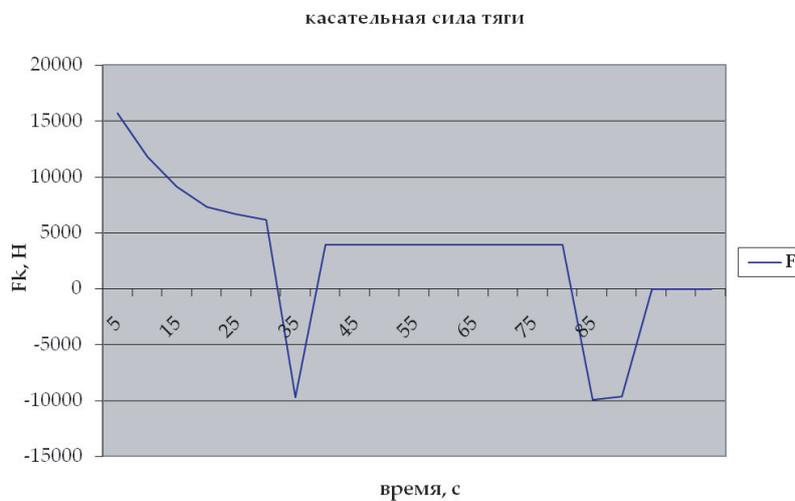
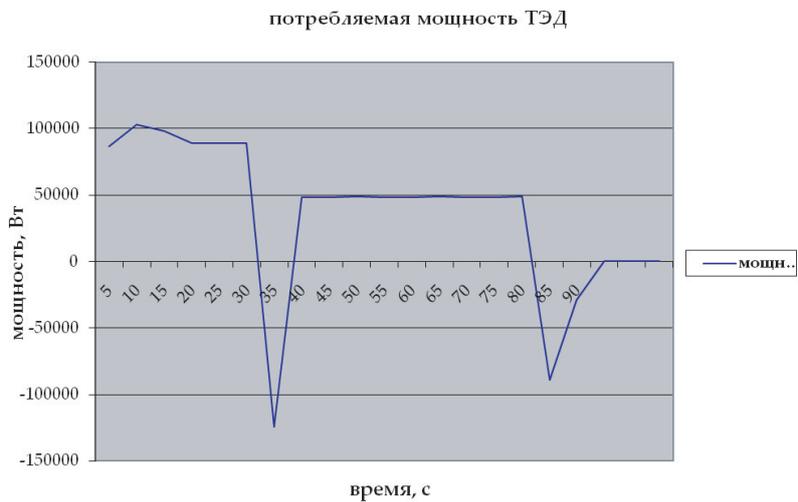
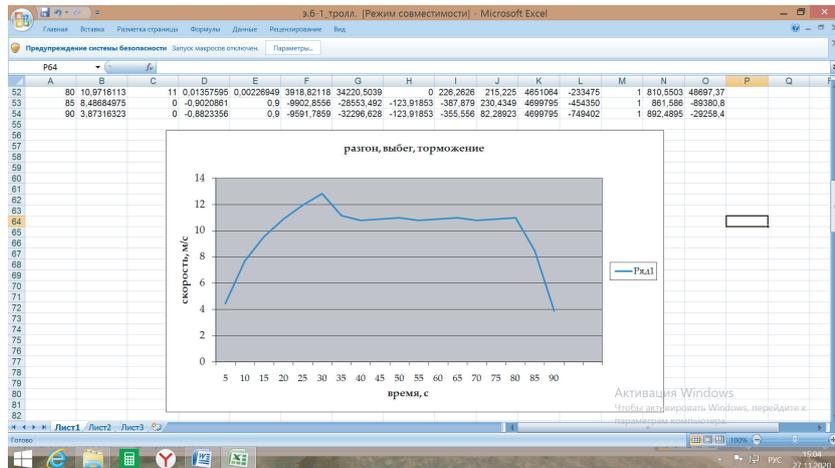


Рис. 3

$$G'_{T1}=30,08 \text{ кг (34,9/58,9 л);}$$

$$G'_{T2}=29,57 \text{ кг (34,3/57,96 л);}$$

$$G'_T=1/n \cdot \Sigma G'_{Ti}=29,82 \text{ кг (34,6/58,4 л).}$$

Здесь и далее – в скобках: числитель – дизельное топливо; знаменатель – сжиженный газ, пропан.

Дополнительный расход топлива, связан с работой вспомогательного оборудования, в т.ч. тормозного электрокомпрессора, а также с системой кондиционирования в летнее время. С учетом коэффициента неодновременности работы электрооборудования:

$$G''_T=5 \text{ кВт} \cdot 0,24 \text{ кг/эфф. кВт} \cdot \text{ч} \cdot 3,2 \text{ ч} = \\ =3,84 \text{ кг (4,4/7,5 л).}$$

Результирующий расход топлива на измеритель 100 км пробега:

$$G_T=G'_T+G''_T=33,6 \text{ кг (38,9/65,8 л).}$$

Относительная экономия топлива в эксплуатации за счет замены дизельного городского автобуса гибридным электробусом:

$$\Delta G_T=(G_0-G_T)/G_0 \cdot 100\% = \\ = (50-38,9)/50 \cdot 100=22,2\%,$$

где  $G_0 \approx 50$  л – норма расхода дизельного топлива для городского автобуса на 100 км пробега (с учетом поправочных коэффициентов) по распоряжению Минтранса [4].

Соответственно, при сопоставлении трех видов современного наземного общественного транспорта выполняются следующие энергетические соотношения:

1. Гибридный электробус энергетически эффективнее «эквивалентного» автобуса с гидромеханической передачей (ГМП), примерно на 22%.

2. Гибридный электробус энергетически эффективнее троллейбуса с импульсным регулированием ТЭД (100÷150 кВт·ч/100 км) на величину энергии тормозной рекуперации (как правило, троллейбус ее не использует) и потерь в сети электроснабжения ( $\approx 15\%$  [5]), т.е. примерно на 31% (по результатам численного моделирования). По данным эксплуатирующих организаций, суммарный удельный расход электроэнергии троллейбусом, с учетом потерь в контактной сети, может достигать 250÷360 кВт·ч/100 км пробега.

3. Гибридный электробус энергетически эффективнее аккумуляторного электробуса на величину потерь в сети электроснабжения зарядных станций и в самих зарядных станциях.

К дополнительным эксплуатационным расходам относятся:

1) для троллейбуса – содержание сети электроснабжения,  $\Delta_T$ ;

2) для аккумуляторного электробуса – содержание сетей электроснабжения зарядных станций и увеличение потребного парка из-за длительного простоя на конечных остановках для заряда АБ,  $\Delta_3$ .

На основании полученных данных приведем сравнительную стоимостную оценку эксплуатационных затрат на энергоносители в отношении гибридного электробуса (дизель-генератор/газопоршневой электрогенератор на пропане) с учетом текущих цен: сжиженный газ – 15 руб./л; дизельное топливо – 45 руб./л; электроэнергия для предприятий – 6 руб./кВт·ч.

1. Экономический эффект по сравнению с дизельным автобусом, на 100 км пробега:

$$\mathcal{E}_1=50 \cdot 45-39 \cdot 45 (65,8 \cdot 15)= \\ =495/1263 \text{ руб. (22/56\%);}$$

2. Экономический эффект по сравнению с троллейбусом, на 100 км пробега:

$$\mathcal{E}_2=200 \cdot 6+\Delta_T-39 \cdot 45(65,8 \cdot 15)= \\ =-555+\Delta_T/213+\Delta_T \text{ руб. (-46\%+\Delta_T\%/18\%+\Delta_T);}$$

3. Экономический эффект по сравнению с аккумуляторным электробусом (при наличии рекуперативного торможения), на 100 км пробега:

$$\mathcal{E}_3=108 \cdot 6+\Delta_3-39 \cdot 45(65,8 \cdot 15)= \\ =-1107+\Delta_3/-339+\Delta_3 \text{ руб.} \\ (-58,5\%+\Delta_3\%/-52\%+\Delta_3\%).$$

## Выводы

- гибридный электробус с газопоршневым электрогенератором, компенсирующим разряд бортового источника, отличается на сегодняшний день наибольшей эксплуатационной эффективностью по сравнению с дизельными автобусами (56%), троллейбусами ( $18\%+\Delta_T$ ) и под вопросом сравнение с аккумуляторными электробусами (необходимо знать дополнительные эксплуатационные расходы,  $\Delta_3\%$ , на содержание сетей электроснабжения и зарядных станций, а также затраты на увеличение потребного парка электробусов примерно на 30÷50% по сравнению с автобусами и троллейбусами при одинаковой «перевозочной» работе);

- уровень высокой экономичности и экологичности гибридного электробуса достигается за счет работы

первичного ДВС небольшой мощности, в основном на расчетном режиме, с постоянной частотой вращения (без переходных процессов и с минимальным числом выходов на режим «холостого хода») соответственно при минимальном удельном расходе топлива, а также за счет использования газового топлива;

• другим преимуществом гибридного электробуса является возможность обеспечения работы системы кондиционирования (вентиляция и охлаждение воздуха) за счет питания от компенсирующего электрогенератора (для аккумуляторного электробуса это остается серьезной энергетической проблемой при существующих удельных энергоемкостях аккумуляторных батарей). 

## Литература

1. Глушкова, Ю.О. Сравнение экономической эффективности эксплуатации троллейбуса и автобуса с учетом экологического фактора / Ю.О. Глушкова, А.В. Пахомова, А.С. Асоян // Научный рецензируемый журнал «Вестник СибАДИ». –2018. –Т15, №3. Сквозной номер выпуска-61. –С. 372–389.
2. Кавтарадзе, З.Р. Перспективы применения поршневых двигателей на альтернативных моторных топливах / З.Р. Кавтарадзе, Р.З. Кавтарадзе // Транспорт на альтернативном топливе. –2010. –№1. –С. 74–80.
3. Amirante R., Distaso E., Tamburrano P., Reitz R.D. Laminar flame speed correlations for methane, ethane, propane and their mixtures, and natural gas and gasoline for spark-ignition engine simulations. *International Journal of Engine Research*. 2017. Vol. 18. No. 9. Pp. 951–970.
4. Распоряжение Минтранса №АМ-23-р от 14.03.2008 г.
5. Ефремов, И.С. Теория и расчет троллейбусов: Электрическое оборудование: учебное пособие для вузов по спец. «Гор. электр. трансп.» В 2-х ч. / И.С. Ефремов, Г.В. Косарев. –М.: Высш. школа, 1981. –Ч .1. –293; Ч.2. –248 с.

# ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ОРГАНИЗАЦИИ ДОГОВОРНОЙ И ПРЕТЕНЗИОННОЙ РАБОТЫ КОМПАНИИ

В статье предложен подход к разработке системы поддержки принятия решений (СППР) договорной и претензионной работы предприятия. Представлены структура и схема СППР договорной и претензионной работы предприятия. При разработке структуры СППР учтены особенности предметной области исследования. При построении схемы СППР была обоснована необходимость в реализации метода интеллектуального анализа данных.



И.А. Журавлев



Е.А. Журавлева

*Ключевые слова:* система поддержки принятия решений, семантическое пространство признаков договора, модель знаний

Проектирование СППР является молодым, перспективным направлением, набирающим популярность исследованием в наше время. В этом направлении главной идеей является повышение оперативности, эффективности и обоснованности решений, принимаемых в сферах, не имеющих определенной структуры. Назначение СППР заключается в предоставлении должностным лицам, принимающим решения (ЛПР), информационной поддержки при выполнении основных задач на базе современных методов информационных технологий и математического моделирования.

Если рассматривать СППР как программный продукт, то она является человеко-машинным комплексом, который создается для предоставления помощи лицу, принимающему решение. Она используется в решении задач с плохой структурированностью данных и плохой формализацией в разных предметных областях.

На рис. 1 выделены основные компоненты в структуре системы поддержки принятия решений.

Активная договорная работа — это показатель активной финансово-хозяйственной деятельности предприятия. Если договорная работа поставлена в компании недостаточно хорошо — ей не избежать проблем с контрагентами и органами государственной власти. Ведение договорной работы должно осуществляться с помощью интеллектуальной системы, так как данный процесс таит в себе массу подводных камней. Разработка и заключение договора подразумевает максимальный учет интересов компании и возможность в будущем использовать пункты договора для защиты интересов компании в суде. Поэтому организация договорной работы в компании обязательно требует привлечения интеллектуальной системы поддержки принятия решения. Данная система поможет в реализации успешной договорной работы, проигрывающая на несколько ходов вперед

**Журавлев Илья Александрович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Системы управления транспортной инфраструктурой» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: надежность и эффективность функционирования систем железнодорожной автоматики и телемеханики, моделирование систем и процессов, эволюционные вычисления, интеллектуальный анализ данных. Автор 60 научных работ, в том числе трех учебных пособий.

**Журавлева Елена Анатольевна**, магистр, специалист тендерного отдела ООО «АСБК софт». Область научных интересов: искусственный интеллект, эволюционные вычисления, интеллектуальный анализ данных. Автор трех научных работ.



Рис. 1. Основные этапы технологии СППР

все обстоятельства, при которых и происходит ведение договорной работы, с учетом особенностей того или иного вида договора.

Структура СППР договорной и претензионной работы предприятия (рис. 2) отображает одну из основных особенностей поставленной задачи – принятие решения о возможности заключения договора (контракта) с заказчиком, основываясь на получении выгоды при подписании. В определении выгоды заключения договора есть понятие семантического пространства признаков договора (СПП Д) – это совпадение или логическое соответствие информации о договоре (контракте), описывающих свойства связанных объектов. Другими словами, СПП Д – это обобщение смысловых ассоциаций с понятием «договор», характерных для определенной по существенным признакам группы ранее заключенных, подписанных договоров. Будем рассматривать выгоду заключения договора как совокупность оценки рисков оформления юридических отношений между предприятием и контрагентом, которые оценены на основе получения прибыли, надежности контрагента, воз-

можности выполнения договора без штрафных санкций. При разработке структуры СППР договорной и претензионной работы предприятия учтены особенности предметной области исследования.

В зависимости от специфики работы предприятия и от его внутренней организации деятельности, к сотрудникам предприятия, принимающим непосредственное участие в заключении договора, относятся:

- специалисты тендерного отдела или отдела продаж;
- сотрудники юридических служб;
- экономисты;
- логисты;
- работники службы безопасности;
- отдел бухгалтерии и т.д.

Перечисленные выше сотрудники являются лицом поддержки принятия решений о заключении договора. ЛПР, которое расставляет приоритеты над выгодой и рисками заключения договора, так же устанавливает систему предпочтений при формировании сведений о планируемом договоре.

## «ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ОРГАНИЗАЦИИ ДОГОВОРНОЙ И ПРЕТЕНЗИОННОЙ РАБОТЫ КОМПАНИИ»

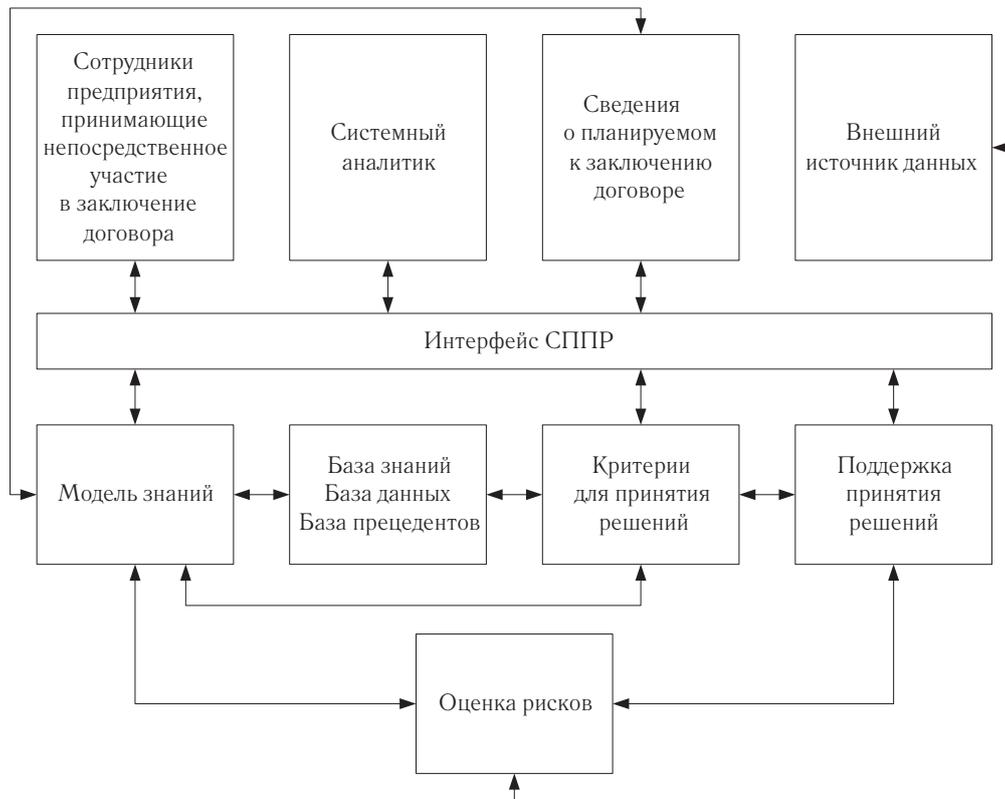


Рис. 2. Структура СПДР договорной и претензионной работы предприятия

Модель знаний включает в себя все действия с данными:

- получение данных;
- анализ данных;
- приобретение знаний;
- построение моделей знаний;
- обучение моделей;
- актуализация моделей.

В оценку рисков входят такие показатели, как:

- надежность контрагента;
- риск несоблюдения сроков договора со стороны предприятия;
- возможные штрафные санкции.

Критерии принятия решений — это их формирование, контроль принятого решения и анализ принятых решений системой ранее.

Поддержка принятия решений (ППР) — это анализ множества решений и выбор оптимального решения.

В состав базы данных входит:

- Внутренняя база договорной системы компании, включающая сведения обо всех заключенных ранее договорах, результат выполнения работ, оказания

услуг и поставки, так же сведения о наличии прибыли по каждому из договоров.

- База претензионной и исковой работы компании для анализа собственных рисков и возможности выполнения договоров.

Внешние источники данных нужны для проверки надежности контрагентов. В таблице указаны официальные ресурсы, из которых СПДР может собрать необходимую информацию для оценки рисков заключения договора.

Для решения задачи СПДР договорной и претензионной работы предприятия методом интеллектуального анализа данных предлагается схема, изображенная на рис. 3. Метод интеллектуального анализа данных будет использоваться для определения рисков заключения договора с контрагентами.

Первым этапом происходит ввод основных сведений о договоре, который рассматривается к заключению. Сотрудник предприятия, принимающий непосредственное участие в подписании и исполнении договора, при его заключении проводит первоначальный анализ возможности исполнения его. После этого по основным данным договора (сумма договора,

Таблица

## Информационные ресурсы для проверки контрагентов

№ п/п	Сайт	Информация, проверяемая в данном источнике
1	egrul.nalog.ru	Общие данные — когда открыли, срок работы, адрес, ФИО директора и учредителей, уставный капитал, телефоны и пр.
2	service.nalog.ru/addrfind.do	Адрес контрагента (является ли он массовым)
3	service.nalog.ru/disqualified.do	Полномочия директора. Может ли он руководить фирмой или отстранен от должности
4	service.nalog.ru/zd.do	Сдает ли компания декларации или больше года не отчитывается. Есть ли у нее долги больше 1000 руб., которые взыскивают приставы
5	rmssp.nalog.ru	Размер бизнеса — малый или средний. Здесь же данные о видах деятельности, лицензии, заключенные госконтракты и пр.
6	bankrot.fedresurs.ru	Данные о том, не станет ли контрагент банкротом
7	vestnik-gosreg.ru/publ/fz83	Сообщения о том, не планируют ли фирму исключить из ЕГРЮЛ
8	fssprus.ru/iss/ip	Долги, которые взыскивают приставы, их суммы
9	kad.arbitr.ru	Судебные дела контрагента
10	gks.ru/accounting_report	Бухгалтерская отчетность, прибыль, убытки
11	e-disclosure.ru	Отчеты и документы АО, показатели их работы
12	сервисы.гувм.мвд.рф	Паспорт директора — действительный документ или подделка
13	reestr-dover.ru	Доверенность представителя, который будет подписывать контракт вместо директора. Можно узнать, не отзывали ли документ
14	gibdd.ru/check/auto	Данные по авто, на кого зарегистрировано, есть ли ограничения, розыск, ДТП, коммерческое использование
15	rosreestr.ru	Недвижимость партнера, ее площадь, тип здания и др.

предмет договора, срок действия договора, наименование контрагента) СППР выполняет поиск подобного договора в базе прецедентов.

При успешной проверке в базе прецедентов проверяется наличие прибыли от реализации на основе уже выполненных ранее договоров. Данный расчет происходит по формуле:

$$\Pi_{\text{рпр}} = V_{\text{пр}} - УР - КР, \quad (1)$$

где  $\Pi_{\text{рпр}}$  — доход от деятельности бизнеса;  
 $V_{\text{пр}}$  — валовая прибыль (цена договора);  
 $УР$  — управленческие расходы;  
 $КР$  — коммерческие расходы.

В том случае, если договор в базе прецедентов отсутствует, необходимо провести экспресс-анализ договора путем введения более подробной информации о контрагентах для проверки надежности его, используя внешние источники.

После успешного анализа договора или при положительном результате проверки договора в базе прецедентов запрашивается ввод подробных сведений о договоре. К подробным сведениям относится информация:

- спецификация с суммами по каждому этапу;
- сроки выполнения договора поэтапно;
- штрафные санкции;
- способ оплаты выполненных обязательств.

Далее происходит формирование данных о договоре в виде нового прецедента.

Для оценки риска заключения договора и принятия правильного решения используем метод интеллектуального анализа данных.

Результат оценки формируется в виде итогового отчета. При положительном решении происходит рассылка данного итогового документа сотрудникам,



В итоге конечной реализации данной системы по организации договорной и претензионной работы предприятия будем наблюдать следующие результаты:

- Повышение финансовой устойчивости компании.
- Увеличение качества и своевременность исполнения предприятием своих обязательств, что приводит к повышению доверия со стороны контрагентов.
- Риски предъявлений претензий и получение требований об уплате штрафных санкций со стороны контрагента сводятся к минимуму.
- Вследствие роста доходов компании благосостояние сотрудников растет, что приводит к большей заинтересованности в эффективной работе предприятия. 

## Литература

1. Фатрелл, Р.Т. Управление программными проектами. Достижение оптимального качества при минимуме затрат / Р.Т. Фатрелл, Д.Ф. Шафер, Л.И. Шафер. — Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. — 1136 с.
2. Колосов, С.П. Реализация решений проблем обработки документооборота, в рамках внутренней функциональной деятельности ИТ компаний, средствами применения комбинированных методов / С.П. Колосов // Автоматизация и ИТ в энергетике. — 2014 г. — №1(54). — С. 11–22.
3. Ковшов, Е.Е. Разработка информационной системы для управления инновациями на основе «облачных» программных технологий / Е.Е. Ковшов, П.Н. Мартынов // Научно-методический журнал «Межотраслевая информационная служба». — 2012. — №4. — С. 37–42.

# МЕТОД УЧЕТА ОГРАНИЧЕНИЙ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ АРХИТЕКТУРЫ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

В статье предложен метод учета ограничений при оптимизации архитектуры аппаратно-программного комплекса системы управления реального времени с помощью генетических алгоритмов. Оптимизация архитектуры аппаратно-программного комплекса производится с учетом критериев надежности и стоимости.



Е.М. Лыткина



С.Н. Ефимов

*Ключевые слова:* автоматизированная система оперативного управления перевозками, аппаратно-программный комплекс

Целью повышения качества оперативно-диспетчерского контроля перевозочным процессом на сети железных дорог России предусмотрена автоматизированная система оперативного управления перевозками (АСОУП). Система позволяет поддерживать в реальном времени информационную модель перевозочного процесса, прогнозировать и планировать эксплуатационную работу линейных подразделений, выполняющих те или иные операции перевозочного процесса. Таким образом, АСОУП обеспечивает единство управления всех уровней, начиная с систем на станциях и других линейных предприятий и заканчивая системами верхнего уровня. В основе системы лежит актуальная информация о поездах, тяговом и нетяговом подвижном составе, их местона-

хождении и состоянии, что делает систему динамичной. Динамическая модель перевозочного процесса позволяет осуществлять полный надзор за выполнением технических норм комплектования составов, решать возникающие задачи, такие как автоматизация сбора информации, отслеживание и отображения поездной ситуации, автоматизация задания маршрутов следования поездов и т.д. [1].

## Постановка задачи

Таким образом, АСОУП является, по сути, системой управления реального времени, то есть системой управления, способной реагировать на изменения в объекте управления и внешней среде в рамках требуемых временных ограничений.

**Лыткина Екатерина Михайловна**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация железных дорог» Красноярского института железнодорожного транспорта – филиала Иркутского государственного университета путей сообщения. Область научных интересов: зональная система повышения надежности тягового подвижного состава. Автор 67 научных работ, в том числе одной монографии. Имеет шесть патентов РФ.

**Ефимов Сергей Николаевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры информационно-управляющих систем Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева. Область научных интересов: реконфигурируемые вычислительные системы обработки информации и управления. Автор 89 научных работ, в том числе четырех монографий. Имеет 13 патентов РФ.

**Терсков Виталий Анатольевич**, доктор технических наук, профессор кафедры информационно-управляющих систем Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева. Область научных интересов: моделирование и оптимизация архитектуры аппаратно-программных комплексов систем управления, работающих в реальном времени. Автор 127 научных работ, в том числе семи монографий. Имеет 16 патентов РФ.

**Ярков Константин Владимирович**, аспирант кафедры «Управление персоналом» Красноярского института железнодорожного транспорта – филиала Иркутского государственного университета путей сообщения. Область научных интересов: информатика и вычислительная техника. Автор 11 научных работ. Имеет два патента РФ.

Подобные системы управления представляют собой аппаратно-программные комплексы (АПК), то есть совокупность аппаратных средств и программного обеспечения (ПО), совместно функционирующих для выполнения поставленной задачи.

Одним из основных параметров, определяющих функционирование подобных систем, является надежность [2].

Надежность АПК системы управления реального времени, то есть вероятность успешно выработать корректное управляющее воздействие за определенное время, является критически важным параметром. Невозможность выработки корректного управляющего воздействия может быть вызвана проявлением ошибок ПО или выходом из строя компонентов аппаратного обеспечения [3].

Оценка надежности вычислительных систем путем опытной эксплуатации изготовленных образцов, как правило, затруднительна вследствие достаточно большого времени наработки на отказ. Поэтому представляется целесообразным создание математических моделей, которые позволят выбирать оптимальные структуры АПК.

Для исследования влияния отказов элементов программного обеспечения АПК применяется подход, связанный с дублированием версий ПО, которые разрабатываются независимо друг от друга [4], за счет этого можно увеличивать надежность программного компонента АПК до необходимого уровня.

Модели надежности аппаратного обеспечения многопроцессорных вычислительных систем могут быть построены с применением математического аппарата и методологии теории массового обслуживания [5;6].

Целесообразным является рассмотрение АПК как единого целого с точки зрения моделирования параметров надежности. Подобная модель может быть построена также с использованием математического аппарата теории массового обслуживания.

Процесс функционирования вычислительной системы представляется замкнутой системой массового обслуживания (СМО) с ограниченной очередью, которая состоит из любого количества разнородных процессоров, соединенных с оперативной памятью посредством шин. При этом потоки отказов процессоров и шин интерфейса независимы, а интегральный поток отказов в системе можно рассматривать как простейший пуассоновский.

Состояния, в которых может находиться рассматриваемая система, обозначим как  $a_{j_1, j_2, \dots, j_N}^{r_1, r_2, \dots, r_K}$  — это состояние, в котором  $(m_1 - j_1)$  процессоров первого типа исправны и участвуют в вычислительном про-

цессе, а  $j_1$  неисправны и восстанавливаются;  $(m_2 - j_2)$  процессоров второго типа исправны и участвуют в вычислительном процессе, а  $j_2$  неисправны и восстанавливаются; ...;  $(m_N - j_N)$  процессоров  $N$ -го типа исправны и участвуют в вычислительном процессе, а  $j_N$  неисправны и восстанавливаются;  $(n - j_{N+1})$  шин интерфейса исправны и участвуют в вычислительном процессе, а  $j_{N+1}$  неисправны и восстанавливаются. Индекс безошибочности (величина, равная единице, если соответствующая версия программного обеспечения работает без ошибок, и нулю — с ошибками) первой версии равен  $r_1$ , второй версии равен  $r_2$ , ...,  $K$ -й версии равен  $r_K$ . Индексы  $j_i$  изменяются от 0 до  $m_i$ , а индексы безошибочности могут принимать значения 0 или 1.

Переход системы в состояние, когда при определенной архитектуре аппаратной части АПК одна из версий критичного по надежности модуля ПО выдает неверный результат, определяется вероятностью безотказной работы данной версии  $p_k$ .

Составляя систему дифференциальных уравнений Чепмена-Колмогорова [7], и приравнявая к нулю производные для стационарного режима, получим систему уравнений, которая однозначно разрешается с учетом условия нормировки.

В результате получим выражение для предельных вероятностей, в которых может находиться система:

$$P_{j_1, j_2, \dots, j_N}^{r_1, r_2, \dots, r_K} = \frac{\prod_{i=1}^{N+1} \rho_i^{j_i}}{\sum_{\substack{j_1=0, m_1 \\ j_2=0, m_2 \\ \dots \\ j_{N+1}=0, n}} \prod_{i=1}^{N+1} \rho_i^{j_i} \left[ 1 + \sum_{k=1}^K (1 - p_k) \right]}, \quad (1)$$

где  $N$  — количество типов процессоров;

$m_i$  — количество процессоров  $i$ -го типа;

$n$  — количество шин интерфейса;

$K$  — количество критичных по надежности версий ПО;

$\rho_i$  — интенсивность загрузки канала обслуживания.

Имея аналитическую модель для вычисления производительности АПК с определенной архитектурой, например [8], а также используя выражение (1) для определения предельных вероятностей состояний вычислительной системы, можно оценивать надежность АПК, то есть находить вероятность работы системы с заданной производительностью.

При решении задачи оптимизации архитектуры АПК системы управления реального времени имеем две группы критериев:

- критерий надежности, который должен быть максимизирован (вероятность нахождения в состоянии,

в котором производительность достаточна для выработки управляющего воздействия);

- критерии стоимости, которые должны быть минимизированы (стоимость системы, стоимость разработки системы, стоимость эксплуатации, стоимость ремонта и т.д.).

При этом на переменные задачи будут наложены ограничения, например, по энергопотреблению, скорости и т.д. Для упрощения задачи критерии стоимости можно перевести в ограничения, так как для всех стоимостных характеристик системы, как правило, имеются верхние границы, заданные заказчиком системы управления. Тогда получаем задачу однокритериальной условной оптимизации с набором существенных ограничений.

Формальная запись задачи оптимизации структуры АПК может выглядеть следующим образом:

$$S_0(m_1, \dots, m_N, n, k) \rightarrow \max,$$

при условиях

$$C_l(m_1, \dots, m_N, n, k) \leq C_l^0, l=1, \dots, L_C,$$

$$m_i^- \leq m_i \leq m_i^+, i=1, \dots, N,$$

$$n^- \leq n \leq n^+,$$

$$1 \leq k \leq K.$$

В данной задаче приняты следующие обозначения:

$S_0$  – критерий оценки надежности;

$C_l$  – критерии оценки стоимости;

$C_l^0$  – предельные допустимые уровни критериев, переведенных в ограничения.

Если приблизительно оценить мощность пространства оптимизации, то получим общее число возможных конфигураций более  $1,6 \cdot 10^{20}$ . Кроме того, задача характеризуется большой размерностью, разнотипностью переменных, многоэкстремальностью целевой функции (1).

Это означает, что для решения поставленной задачи могут быть использованы эвристические алгоритмы усеченного перебора.

При решении задач оптимизации положительно зарекомендовали себя алгоритмы эволюционной оптимизации, например, алгоритм генетического программирования [9], вероятностный генетический алгоритм [10] или асимптотический вероятностный генетический алгоритм [11].

### Метод учета ограничений

Генетический алгоритм (ГА) это стохастический метод псевдобулевой оптимизации (то есть оптими-

зации функций с булевыми аргументами и вещественными значениями), имитирующий эволюционные процессы, происходящие в популяциях живых организмов [10]. Среди рассматриваемых решений производится отбор (селекция) перспективных особей в промежуточную популяцию, которая затем используется для порождения особей новой популяции.

Укрупненно генетический алгоритм можно описать следующим образом:

1. Создать и оценить начальную популяцию с равномерным распределением генов.
2. Если выполнен критерий останова, прекращаем работу.
3. Сформировать промежуточную популяцию с помощью выбранного метода селекции.
4. Создать новую популяцию на основе промежуточной с использованием выбранного оператора скрещивания и мутации.
5. Перейти к шагу 2.

Генетические алгоритмы оптимизации имеют большое количество настраиваемых параметров, в частности, необходимо выбирать конкретный вид генетических операторов в зависимости от конкретной задачи оптимизации. Чтобы исключить этап настройки параметров, который требует, как правило, привлечение специалиста в области эволюционных алгоритмов оптимизации, был предложен метод самоконфигурации [12]. Основная идея этого метода заключается в том, что одновременно используются различные генетические операторы. Частота использования каждого оператора меняется в ходе работы алгоритма в зависимости от качества получаемых с помощью этого оператора решений.

Поставленная задача оптимизации имеет существенные ограничения, то есть является задачей условной оптимизации. Одной из основных проблем задач условной оптимизации является вопрос, что делать с недопустимыми (не удовлетворяющими хотя бы одному ограничению) решениями в процессе поиска, то есть какой метод учета ограничений использовать.

Один из методов учета ограничений – полностью игнорировать недопустимые решения и продолжать процесс поиска только с допустимыми решениями. Тем не менее, недопустимые решения могут содержать полезную информацию. Если полностью игнорировать недопустимые решения, разнообразие может быть потеряно на ранних стадиях процесса поиска, что может завести поиск в локальный оптимум.

В работе [13] предлагается следующая классификация методов учета ограничений:

- сохранение допустимости решений;
- штрафные функции;

- разделение допустимых и недопустимых решений;
- гибридные методы.

Разнообразие методов учета ограничений приводит к необходимости выбора одного из них, что, как правило, не может быть сделано без экспериментирования и привлечения специалиста в области эволюционных методов оптимизации.

Для того, чтобы упростить работу ГА при проектировании многопроцессорных АПК с мультиверсионным программным обеспечением, целесообразно реализовать самонастройку выбора метода учета ограничений. При этом в ходе оптимизации используется несколько методов учета ограничений. В начале оптимизации каждый из них работает с популяцией, размер которой составляет  $1/z$  общего размера популяции, где  $z$  число используемых методов учета ограничений. На каждом поколении вычисляется доля допустимых решений, порождаемых с помощью каждого метода, а также определяется метод учета ограничений, у которого эта доля является наибольшей. Доля в популяции лучшего метода учета ограничений на следующем поколении увеличивается на

$$Cn \frac{z-1}{zN},$$

где  $Cn$  — константа, определяющая скорость адаптации;

$N$  — номер поколения.

Доли в общей популяции остальных методов учета ограничений уменьшаются на величину

$$Cn \frac{1}{zN}.$$

При этом существует минимальный порог доли, если какой-либо метод достигает этого порога, то он перестает «отдавать» долю, а лучший на данном

поколении метод учета ограничений перестает ее от него получать. Если на каком-то этапе оптимизации все порождаемые решения становятся допустимыми, то доли не изменяются вообще.

Самонастройка метода учета ограничений будет характеризоваться большим «давлением» на методы учета ограничений, порождающие плохие решения, чем при использовании нескольких методов учета ограничений, когда вычислительные ресурсы для всех конкурирующих методов учета ограничений одинаковы и не перераспределяются, так как выделяемые им ресурсы будут уменьшаться.

Описанный подход самонастройки метода учета ограничений не вводит дополнительных настраиваемых параметров, если уже используется самонастройка генетических операторов, то есть сложность ее использования не изменяется.

### Заключение

Задача проектирования многопроцессорного АПК системы управления реального времени с мультиверсионным ПО может быть формализована как задача условной оптимизации на дискретной решетке.

Подобные задачи в силу свойств целевой функции и ограничений, а также объема пространства поиска, могут быть эффективно решены только с использованием эвристических алгоритмов оптимизации, например, эволюционных алгоритмов.

Применение эволюционных алгоритмов для решения задач условной оптимизации требует выбора метода учета ограничений, причем эффективность методов учета ограничений зависит от конкретной решаемой задачи.

Для автоматизации выбора метода учета ограничений в эволюционных алгоритмах был предложен алгоритм самонастройки учета ограничений, который основан на перераспределении долей в популяции в пользу лучших методов учета ограничений. 

## Литература

1. Васильев, В.А. Системы реального времени и области их применения / В.А. Васильев, К.Е. Легков, И.В. Левко // Информатика и космос. — 2016. — №3. — С. 68–70.
2. Павский, В.А. Вычисление показателей надежности вычислительных систем [Текст] / В.А. Павский, В.Г. Хорошевский // 7-я Международная научно-техническая конференция «Искусственный интеллект. Интеллектуальные и многопроцессорные системы». — Таганрог: ТРТУ, 2006. — Т2. — С. 17–21.
3. Buttazzo, G. Hard Real-Time Computing Systems: Predictable Scheduling Algorithms and Applications. — New York, NY, Springer. — 2011.

4. Ковалёв, И.В. К вопросу реализации мультиверсионной среды исполнения бортового программного обеспечения автономных беспилотных объектов средствами операционной системы реального времени / И.В. Ковалёв, В.В. Лосев, М.В. Сарамуд [и др.] // Вестник СибГАУ. — 2017. — №1(18). — С. 58–61.
5. Efimov, S.N. Methods of Assessing the Characteristics of the Multiprocessor Computer System Adaptation Unit / Sergey.N. Efimov, Valeriy N. Tyapkin, Dmitry D. Dmitriev, Vitaly A. Terskov // Journal of Siberian Federal University. Mathematics & Physics 2016, 9(3). — P. 288–295.
6. Ефимов, С.Н. Реконфигурируемые вычислительные системы обработки информации и управления / С.Н. Ефимов, В.А. Терсков. — Красноярск: КРИЖТ ИрГУПС, 2013. — 249 с.
7. Ross, S. M. Introduction to Probability Models (11th ed.). 2014. P 187. — ISBN: 978-0-12-375686-2.
8. Galushin, P.V. A performance model of a multiprocessor computer appliance of a real-time control system / P.V. Galushin, O.Yu. Serikova, V.A. Terskov, K.V. Yarkov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia, 2020. — С. 12103.
9. Ефимов, С.Н. Алгоритм генетического программирования с автоматически определяемыми функциями для выбора спецпроцессоров МВС интеллектуального анализа данных в режиме реального времени / С.Н. Ефимов, А.С. Егоров, Е.С. Семенкин // Вестник Томского государственного университета. Серия «Математика. Кибернетика. Информатика». — 2006. — № 19. — С. 223–225.
10. Goldberg, D 1989 Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Reading, MA: Addison-Wesley Professional.
11. Sopov, E The convergence prediction method for genetic and PBIL-like algorithms with binary representation / E. Sopov, S. Sopov. — // IEEE International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON 2011). — p. 2036.
12. Семёнкин, Е.С. Самоконфигурируемые эволюционные алгоритмы моделирования и оптимизации: монография / Е.С. Семёнкин, М.Е. Семёнкина. МДП. — Магнитогорск, 2014. — 312 с.
13. Michalewicz, Z. Evolutionary algorithms for constrained parameter optimization problems / Z. Michalewicz, M. Schoenauer // Evolutionary Computation, vol. 4, 1996. — P. 1–32.

## АНАЛИЗ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА НА ТРАНСПОРТЕ



**О.С. Локтева**



**А.А. Локтев**

В статье представлен анализ основных перспективных направлений развития системы управления охраной труда на транспорте с учетом внедрения концепции нулевого травматизма.

*Ключевые слова:* безопасные условия труда, нулевой травматизм, причины несчастных случаев, регрессионные соотношения

**П**раво каждого работника на безопасные условия труда отражено в основных законах Российской Федерации, Трудовом кодексе РФ, нормативных правовых актах федерального, регионального, территориального и локального уровня отдельной организации.

Работодатели обеспечивают разработку и эффективное функционирование системы управления охраной труда, информируют работников о риске повреждения здоровья на рабочих местах, обеспечивают выполнение требований нормативных актов в сфере охраны труда. Кроме того, выделяют на дополнительные мероприятия по улучшению условий и охраны труда не менее 0,2% от суммы затрат на производ-

ство продукции, организуют проведение специальной оценки условий труда на рабочих местах.

Кроме того, в настоящее время Правительством РФ уделяется большое внимание профилактическим мерам по недопущению распространения коронавируса COVID-19. Для чего подготовлен ряд мероприятий, в том числе: соблюдение личной гигиены (обработка рук, лица антисептиками); ношение масок, перчаток, очков; применение разделяющих экранов на рабочих местах, которые должны находиться на расстоянии более 2 метров; соблюдение установленной дистанции в общественных местах (столовых, буфетах, местах для курения, туалетах и т.д.); проветривание и обработка помещений и др.

---

**Локтева Ольга Степановна**, начальник отдела социальной политики ООО «Конмарк». Область научных интересов: охрана труда, социальное партнерство, отношения работник-работодатель, сохранение историко-культурного наследия. Автор 13 научных работ, в том числе одной монографии и пяти учебных пособий.

**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 184 научных работ, в том числе трех монографий.

**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 57 научных работ, в том числе одной монографии.

**Семочкин Александр Владимирович**, директор научно-образовательного центра «Цифровые технологии управления жизненным циклом транспортной инфраструктуры» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: безопасность производственных процессов, технологии информационного моделирования объектов транспортной инфраструктуры. Автор четырех научных работ.

Важнейшей задачей системы управления охраной труда на каждом предприятии является достижение показателя нулевого травматизма. При этом, в качестве мероприятий в программу «нулевого травматизма» включается развитие системы управления охраной труда раннее выявление признаков профессиональных заболеваний у работников, регулярная оценка профессиональных рисков, дальнейшее управление профессиональными рисками [1–5]. В основу системы управления охраной труда положен постулат – все производственные травмы и профессиональные заболевания могут быть предотвращены, формирование культуры безопасного труда является основой всей трудовой деятельности работника. Для предупреждения травм и заболеваний разработан новый подход к оценке профессиональных рисков и управлению ими. Для обеспечения данного нового подхода выстраивается нормативная база от федерального уровня до локального уровня организации.

В июне 2020 года на международной конференции «СИЗ – новые вызовы в новом мире» директор Департамента условий и охраны труда Министерства труда и социальной защиты РФ Молебнов Г.В. привел данные статистики травматизма и отметил, что основные причины тяжелых несчастных случаев на производстве по итогам 2019 года – следующие (рисунок).

При этом было отмечено, что государственное регулирование в сфере охраны труда на сегодняшний день обеспечивается международными актами, Трудовым кодексом РФ и 1091 нормативно-правовым актом в сфере охраны труда. Вместо 1091 акта

планируется разработать 73 нормативных документа (сократить на 93,3%): вместо 113 правил по охране труда – 48; все 725 инструкций по охране труда отменить, а взамен Минтрудом РФ будет предложена единая структура инструкций по охране труда, устанавливающая единый подход, принят новый порядок обучения работников охране труда и технике безопасности, изменено законодательство в области обеспечения работников спецодеждой и средствами индивидуальной защиты (СИЗ). Планируется внедрение единых типовых норм выдачи СИЗ для всех видов экономической деятельности, предусматривающих переход от списочного порядка предоставления СИЗ (в зависимости от наименования профессии) к индивидуальному (от выявленных на рабочем месте вредных и опасных производственных факторов). Внедрение новых норм позволит снизить финансовую нагрузку на работодателя, а также даст возможность работодателю самостоятельно выбирать необходимые СИЗ. Новый нормативно правовой акт по СИЗ заменит 66 действующих.

Новая перспективная модель нормативного регулирования в сфере охраны труда ставит перед собой следующие основные цели: снижение травматизма, сохранение здоровья работников и снижение регулирующей нагрузки на работодателя. Для чего необходимо: совершенствование требований охраны труда с учетом современного уровня технологического развития; внедрение риск-ориентированного подхода с прицелом надзорных и контрольных мероприятий конкретно на организации с высоким риском травматизма; устранение дублирований в норма-



Рисунок. Причины несчастных случаев на производстве

тивно-правовых актах Минтруда РФ, Ростехнадзора и Роспотребнадзора.

Нужен единый действенный подход в охране труда, основанный на риск-ориентированных принципах, способный верно оценивать профессиональные риски, управлять ими в целях достижения нулевого травматизма на производстве.

В исследовании [6] развивается подход, основанный на достижении показателей нулевого травматизма для всей системы управления охраной труда на предприятиях транспортной отрасли. В нем предложена математическая модель для определения значений характеристик, отвечающих за представление и реализацию каждого из семи основных правил концепции «нулевого травматизма», к которой присоединилась Российская Федерация. В данном исследовании конечная целевая функция рассматривается в виде суммы [7;8], учитывающей пороговые значения для каждой факторной переменной; применяются коэффициенты, определяющие вклад каждого критерия в общее значение итоговой величины; учитываются вредные и опасные факторы для отдельно взятого рабочего места.

При оценке влияния отдельных факторов предлагается применять модели множественной регрессии: линейную

$$F(\bar{x}) = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 + a_6x_6 + a_7x_7, \quad (1)$$

или параболическую

$$F(\bar{x}) = a_0 + a_1x_1^2 + a_2x_2^2 + a_3x_3^2 + a_4x_4^2 + a_5x_5^2 + a_6x_6^2 + a_7x_7^2, \quad (2)$$

где  $\bar{x} = \{x_i\}$  – векторы переменных;  $a_i$  – весовые коэффициенты модели.

При этом основной вклад в результирующую функцию вносят весовые коэффициенты, которые имеют различные единицы измерения, и поэтому их сложно группировать по степени влияния на исследуемую величину [9–11]. Для реализации возможности сравнения влияния различных параметров используются коэффициенты эластичности, бета- и дельта- коэффициенты:

$$\Theta_i = a_i \frac{x_m}{f_m}, \quad (3)$$

$$\beta_i = a_i \frac{S_{x_i}}{S_f}, S_{x_i} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (x_{ji} - x_{jcp})^2}{n-1}}, \quad (4)$$

$$S_f = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (f_j - f_{cp})^2}{n-1}},$$

$$\Delta_i = r(x_i, f) \frac{\beta_i}{R^2}, \quad (5)$$

здесь  $R^2$  – множественный коэффициент детерминации;  $x_m, f_m$  – медианные значения в векторах переменных и результирующей функции;  $S_{x_i}, S_f$  – среднеквадратичские отклонения переменных;  $r(x_i, f)$  – коэффициент взаимной корреляции между  $x_i$  и  $f$ .

Указанные коэффициенты позволяют выполнять сравнение коэффициентов различных слагаемых в выражениях регрессии (1) или (2) в целях выявления степени их влияния на исследуемую функцию [11;12]. Параметр, определяемый по выражению (3), не дает возможности учесть колеблемость факторов. В таком случае оценка величины изменения искомой функции при изменении одной переменной из (1), (2) на значение собственного среднеквадратического отклонения производится при фиксированных значениях остальных величин из вектора  $\bar{x} = \{x_i\}$ , для чего используются коэффициенты (5), сумма которых для каждого представления равна единице.

Правило обеспечения функционирования всей системы управления охраной труда можно представить в виде функции [6]:

$$F(\bar{x}) = \sum_{i=1}^7 k_i (\bar{g}) \left( \frac{x_i}{x_i^0} \right)^{n_i}, \quad (6)$$

здесь величина  $x_i^0$  представляет собой нормируемое пороговое значение для каждой факторной переменной;  $k_i$  – коэффициенты, определяющие вклад каждого фактора в общее значение итоговой величины для конкретного рабочего места;  $\bar{g}$  – вектор вредных и опасных факторов для рабочего места;  $n_i$  – показатель, определяемый методом экспертных оценок, учитывающий общее состояние системы управления охраной труда на предприятии, с учетом федеральных, региональных и местных нормативных актов.

Выражение (6) позволяет решать как прямую, так и обратную задачу обеспечения безопасных условий труда, при фиксированном значении искомой функции можно подобрать величины функциональных коэффициентов для каждого слагаемого [13;14], связанного с определенным правилом концепции «нулевого травматизма».

Для достижения целей концепции «нулевого травматизма» нормативными документами принято новое направление в охране труда – оценка профессиональных рисков для дальнейшего управления ими. Согласно принятым документам оценку профессиональных рисков нужно проводить в каждой организации вне зависимости от числа работников и рода деятельности, так как работодатель обязан создать систему управления охраной труда и контролировать, как она функционирует (ст. 212 ТК РФ) [15].

Оценка профессиональных рисков проводится путем использования любого из 31 предлагаемого метода (по самостоятельному выбору работодателя). Метод выбирают в зависимости от характера деятельности и сложности производственных операций (п. 37 Типового положения о системе управления охраной труда, утв. приказом Минтруда РФ от 19.08.2016 №438н). Чтобы управлять рисками, нужно выявить все опасности на рабочих местах, оценить уровни профессиональных рисков и разработать мероприятия, направленные на их снижение. Для математической модели оценки уровня профессиональных рисков предлагается использовать модель, полученную при исследовании [11].

В целях снижения нагрузки на работодателя происходит конкретизация и уточнение предъявляемых требований и утверждаемых положений нормативных актов по различным направлениям охраны труда, в том числе уточнены отдельные правоотношения, определяющие порядок ведения реестра организаций, осуществляющих деятельность по проведению специальной оценки условий труда. Обновляются профессиональные стандарты работников железнодорожной отрасли, например работника по контролю за состоянием железнодорожного пути; работника по управлению и обслуживанию уборочных (моечных) машин (установок), мойке, уборке и обработке железнодорожного подвижного состава; наладчика контрольно-измерительных вагонов железнодорожного транспорта; специалиста по организации ремонта, технического обслуживания и изготовления узлов транспортных средств и элементов устройств инфраструктуры, зданий и сооружений железнодорожного транспорта; бригадира по текущему содержанию и ремонту пути и искусственных сооружений железнодорожного транспорта; специалистов по обработке и оценке результатов контроля технического состояния элементов верхнего строения железнодорожного пути; бригадира (освобожденного) предприятий железнодорожного транспорта, агента транспортного обслуживания железнодорожного транспорта,

где устанавливается основная цель вида профессиональной деятельности, определяются требования к образованию и обучению, особые условия допуска к работе и другие характеристики.

Кроме того, с 1 января 2021 года предлагается ввести в действие обновленные правила по охране труда при сооружении мостов, при производстве дорожных строительных и ремонтно-строительных работ. Правила разработаны в рамках «регуляторной гильотины» с учетом риск-ориентированного подхода и современного уровня технологического развития и направлены на минимизацию риска получения производственных травм и профессиональных заболеваний работников. Правила устанавливают государственные нормативные требования охраны труда, предъявляемые к организации и осуществлению работ, связанных с проведением строительства, реконструкции, ремонта и содержания железнодорожных, автомобильно-дорожных, городских, пешеходных мостов, путепроводов, эстакад, виадуков, акведуков, труб под насыпями дорог в исправном состоянии, эксплуатации используемых в указанных целях дорожной и строительной техники и технологического оборудования, а также при изготовлении сборных и монолитных бетонных и железобетонных конструкций на строительных площадках, выполняемых мостостроительными организациями во всех строительско-климатических зонах, а также связанных с проведением строительства, реконструкции, ремонта и содержания дорог в исправном состоянии, эксплуатации используемой техники и технологического оборудования.

Таким образом осуществляется переход от множества декларативных нормативов, оценивающих ситуацию постфактум, требующих больших финансовых затрат на контроль их выполнения, к риск-ориентированному подходу предупреждения травм и заболеваний, к оценке профессиональных рисков в целях управления ими, к формированию культуры безопасности труда, которая является основой всей трудовой деятельности человека. 

## Литература

1. Локтева, О.С. Особенности развития риск-ориентированного подхода на железной дороге / О.С. Локтева, Д.А. Локтев // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». – Том 4, №4 (2017). DOI: 10.15-862/08TS417.
2. 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.

3. Наставничество как один из наиболее эффективных способов подготовки и развития научных работников / А.А. Локтев, О.С. Локтева, Д.Р. Шукюров, Д.А. Локтев // В сборнике: Современные проблемы железнодорожного транспорта. Сборник трудов по результатам международной интернет-конференции. В двух т.; Под общ. ред. К.А. Сергеева. – М.: РУТ (МИИТ), 2019. – С. 393–403.
4. Аксенов, В.А. Система управления профессиональными рисками как элемент повышения безопасности производственных процессов на транспорте / В.А. Аксенов, П.Н. Потапов, А.М. Завьялов // Известия Транссиба. – 2013. – №4 (16). – С. 115–123.
5. Aksenov V., Zavyalov A., Chaplygin V., Sorokina E. Analysis of industrial injuries and assessment of the risk of injury to railway power supply workers. В сборнике: E3S Web of Conferences. Key Trends in Transportation Innovation, КТТИ 2019. 2020. С. 04013.
6. Локтева, О.С. Нулевой травматизм и возможность его достижения в транспортной отрасли / О.С. Локтева, А.А. Локтев // Наука и техника транспорта. – 2020. – №2. – С. 87–92.
7. Локтев, А.А. Моделирование систем противоударной изоляции с вязкоупругими элементами / А.А. Локтев, В.В. Вершинин // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Естественные науки. – 2012. – №2 (45). – С. 38–53.
8. Локтев, А.А. Расчет противоударного изолятора с ограничением рабочих характеристик / А.А. Локтев, В.В. Вершинин // Вестник МГСУ. – 2011. – №4. – С. 35.
9. Локтев, А.А. Модели взаимодействия колеса и рельса при высоких скоростях движения / А.А. Локтев, В.В. Виноградов, В.А. Бучкин // Мир транспорта. 2016. – Т.14, №1 (62). – С. 54–60.
10. 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.
11. Loktev D.A., Loktev A.A. Development of a user interface for an integrated system of video monitoring based on ontologies // Contemporary Engineering Sciences. 2015. Т. 8. № 20. С. 789–797.
12. 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.
13. Локтева, О.С. Риск-ориентированный подход как основа системы управления охраной труда / О.С. Локтева, Д.А. Локтев // Наука и техника транспорта. – 2018. – №1. – С. 84–91.
14. Локтев, Д.А. Железнодорожные сооружения культурного наследия в развитии регионального туризма и дополнительного образования / Д.А. Локтев, О.С. Локтева, Ю.Н. Бобык // В сборнике: Современные проблемы железнодорожного транспорта. Сборник трудов по результатам международной интернет-конференции. В двух т.; Под общ. ред. К.А. Сергеева. – М.: РУТ (МИИТ), 2019. – С. 403–412.
15. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 №197-ФЗ (ред. от 29.12.2020).

# УГЛЕКИСЛЫЙ ГАЗ В ВОЗДУХЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЙ

Сочетанное влияние химических веществ, входящих в состав токсичных выбросов различных видов транспорта в агломерациях, может быть учтено при проведении специальной оценки условий труда и производственного контроля за счет введения в расчетную часть протоколов измерений повышающего коэффициента.



**В.А. Аксёнов**



**В.Е. Бурак**

*Ключевые слова:* углекислый газ, атмосферный воздух, воздух рабочей зоны, гигиеническое нормирование, сочетанный эффект

**А**тмосферный воздух, которым мы дышим, на 99,99% состоит из азота, кислорода, аргона и углекислого газа. Содержание углекислого газа находится в пределах 0,04% по массе и составляет около 206000 млрд т [1].

За весь период существования человечества (70000–80000 лет), химический состав атмосферы существенно не менялся, а локальные и временные изменения не привели к каким-либо значительным изменениям в генотипе и вид *Homo sapiens* сформировался как стенокарбонный (от греч. *stenos* — узкий, ограниченный и лат. *Carbon Dioxide* — углерода диоксид), т.е. обитающий в узком диапазоне колебаний содержания в атмосферном воздухе углекислого газа.

Индустриализация производственной деятельности в последние десятилетия привела к изменению состава атмосферного воздуха и, в частности, концентрации в нем углекислого газа.

Проявляя обеспокоенность за здоровье граждан, уполномоченные органы управления устанавливают предельно-допустимые нормативы, исходя из представлений о негативных последствиях для организма человека и экономических возможностей государства.

В Российской Федерации основными нормативными документами, определяющими предельно допустимое загрязнение воздушной среды, являются ГН 2.1.6.3492-17 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе

**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.

**Бурак Василий Евгеньевич**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: анализ воздействия вредных производственных факторов на работника и окружающую среду. Автор более 200 научных работ, в том числе двух монографий.

**Сорокина Екатерина Александровна**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: условия труда работников массовых профессий городских агломераций, профилактика травматизма, микротравмирование, профессиональные заболевания. Автор более 40 научных работ, в том числе трех учебных пособий и двух монографий.

городских и сельских поселений» [2] и ГН 2.2.5.3532-18 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны» [3].

Учитывая постепенное увеличение содержания в воздухе углекислого газа, считаем актуальным исследовать вопросы, связанные с его нормированием, прежде всего в мегаполисах и крупных городских агломерациях.

### Цель исследований

Обеспечение благоприятных условий труда и жизнедеятельности в условиях сочетанного действия фоновое загрязнение территорий углекислым газом и выбросами различных видов транспорта.

### Задачи

1. Исследовать нормирование содержания углекислого газа в атмосферном воздухе и воздухе рабочей зоны.

2. Предложить возможность учесть фоновое загрязнение углекислым газом в транспортных системах городских агломераций при проведении специальной оценки условий труда и производственного контроля.

### Результаты исследований

Углекислый газ (диоксид углерода,  $\text{CO}_2$ ) далеко не самое опасное химическое вещество в атмосферном воздухе, относится к 4 классу опасности, но, среди так называемых парниковых газов, оно самое значимое по объему и массе (табл. 1). Среди выбросов парниковых газов в Российской Федерации за 2018 г. углекислый газ составил по массе 76,2%.

Анализ ГН 2.1.6.3492-17 показал, что в Российской Федерации предельно-допустимое содержание углекислого газа в воздухе городских и сельских поселений не установлено [2].

В ГОСТ Р ЕН 13779-2007, в качестве справочных материалов, приведено только среднегодовое значение для сельской местности, в которой отсутствуют источники загрязнения наружного воздуха – 350 ppm [5].

Поскольку нормирование на законодательном уровне отсутствует, постоянное мониторинговое наблюдение за содержанием углекислого газа в воздухе городов Российской Федерации, не проводится. Однако, в целом по стране и на Земле, его концентрацию фиксирует сеть лабораторий в рамках Глобальной системы экологического мониторинга окружающей среды. В интернете, в режиме реального времени, можно посмотреть карту распределения углекислого газа по всем континентам (рис. 1) [7].

Наибольшие концентрации отмечены в городах с развитой промышленностью и интенсивным транспортным движением. Так, например, в крупных городах и мегаполисах, содержание углекислого газа достигает, в безветренную погоду в часы пик, 800–2000 ppm, что в 2,3–5,7 раз превышает его содержание в сельской местности.

Перемещение воздушных масс снижает максимальные концентрации в местах наибольшего скопления транспорта и создает определенное фоновое распределение углекислого газа по всей территории.

Его величина прямо зависит от концентрации загрязняющего вещества в источнике (прежде всего, это крупные автомагистрали и развязки), плотности

Таблица 1

#### Совокупные выбросы парниковых газов (без учета землепользования, изменения землепользования и лесного хозяйства), млн т $\text{CO}_2$ -эквивалента в год [4]

Показатель	Годы					
	2005	2010	2015	2016	2017	2018
Углекислый газ ( $\text{CO}_2$ )	1547,4	1612,9	1622,9	1618,3	1646,2	1691,4
Метан	346,4	351,9	363,6	366,9	383,9	396,0
Оксид азота	73,6	75,0	81,1	84,6	86,3	85,9
Гидрофторуглероды	19,6	13,4	22,3	23,7	34,4	42,8
Перфторуглероды	6,3	3,6	3,5	3,7	3,2	2,7
Гексафторид серы	1,5	1,0	1,1	1,0	1,4	1,3
Всего, без $\text{CO}_2$	101,2	93,0	108,0	113,0	125,3	132,7
Всего	1995,1	2057,9	2094,0	2098,1	2155,3	2220,1

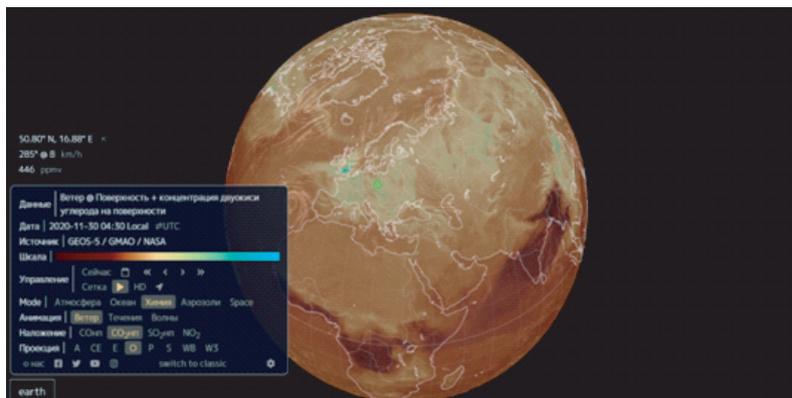


Рис. 1. Содержание углекислого газа в приземном слое воздуха на 30.11.2020 г.

городской застройки и количества дней с безветренной и маловетреной погодой со скоростью движения воздуха до 1 м/с. В Российской Федерации количество таких дней в году, в среднем по 11 городам-миллионникам, весьма значительно и составляет 45,9%, что выше, чем в городах с населением 300–500 тыс. человек и меньшей плотностью застройки на 25–40%.

Организм человека обладает определенной толерантностью к изменению содержания в воздухе углекислого газа в довольно широких пределах 400–800 ppm. Но, уже в ситуации, когда его количество превышает 800–1000 ppm, неизбежно наблюдается повышенная утомляемость, головные боли, пониженная работоспособность, что является серьезной предпосылкой производственного травматизма и профессиональной заболеваемости.

Необычная ситуация складывается при определении класса (подкласса) вредности в специальной оценке условий труда и при проведении производственного контроля. Результатами измерений концентрации углекислого газа вообще приходится пренебрегать, поскольку предельно-допустимые концентрации, установленные в ГН 2.2.5.3532-18 настолько велики, что фактически измеренные концентрации никогда не достигают установленных величин – ПДК<sub>сс</sub> (9000 мг/м<sup>3</sup>) и ПДК<sub>мр</sub> (27000 мг/м<sup>3</sup>) [3].

Углекислый газ не относится к веществам однократного действия, к которым применим эффект суммации и которые, хоть как-то, можно было бы учесть.

Вместе с тем, углекислый газ усугубляет неблагоприятное действие токсичных выбросов различных видов транспорта, которые весьма значительны. Так, в Москве загрязненность воздуха вблизи автомагистралей в 2017–2019 гг. превышала концентрацию загрязняющих веществ на территории жилой застройки в 1,3–1,5 раз.

В качестве примера на рис. 2 приведена динамика средней концентрации оксида углерода и оксида азота с 2000 по 2019 гг.

В течение года наблюдаются значительные колебания концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе (табл. 2).

При этом выбросы оксидов углерода от автомобильного транспорта составили в 2018 г. 95,7%, от железнодорожного транспорта 1,5% и от остальных видов транспорта – 3,8%.

Совместное действие химических веществ, входящих в состав выхлопных газов, характеризуется синергическим эффектом, вне зависимости от их концентрации и степени превышения относительно ПДК в данный момент времени. Так, известно, что оксид углерода и оксид азота взаимоусиливают негативное действие на живой организм. Это же явление характерно для оксида углерода и диоксида серы; оксида углерода, оксидов азота, бензола и т.д. [12].

Отсутствие реального нормирования не означает отсутствие негативного, в т.ч. сочетанного, воздействия на работника химических веществ, включая углекислый газ.

Совокупность фоновое и специфического (идентифицированного) химического загрязнения как окружающей среды, так и воздуха рабочей зоны, снижает жизнеспособность любых генотипов и повышает вероятность смертности, что хорошо видно из формулы Гомперца-Мейкема [8–10]:

$$m(t) = A + R \exp(at),$$

где  $m(t)$  – вероятность смертности, людей возраста  $t$ ;

$R \exp(at)$  – возрастная компонента смертности, отражающая экспоненциальный рост смертности с возрастом;

$A$  – константа, отражающая зависимость интенсивности смертности от внешних условий (фоновая



Рис. 2. Средняя концентрация оксида углерода и оксида азота в г. Москве в 2000–2019 гг.

Таблица 2

**Диапазоны среднегодовых колебаний основных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе г. Москвы**

№ п/п	Загрязняющее вещество	Диапазоны среднегодовых колебаний, в долях ПДКсс	
		2018 г.	2019 г.
1	Оксид углерода	0,06–0,26	0,05–0,23
2	Оксид азота	0,08–0,9	0,1–0,6
3	Диоксид серы	0,04–0,12	0,02–0,14
4	Бензол	0,02–0,11	0,05–0,07
5	Диоксид азота	0,26–1,71	0,38–1,47
6	PM10	0,24–0,82	0,52–1,21

компонента смертности), одинаковая для всех возрастных групп;

$R_0$  – начальный уровень смертности;

$a$  – показатель, отражающий скорость нарастания смертности с возрастом.

Суть формулы состоит в том, что с возрастом жизнеспособность падает, а неблагоприятные внешние условия, в т.ч. фоновое загрязнение атмосферного воздуха, усугубляют этот процесс.

По результатам специальной оценки условий труда в Российской Федерации за 2014–2019 гг. избыточное содержание в воздухе рабочей зоны химических веществ занимает четвертое место в установлении вредного класса воздействия на здоровье работников, а по результатам производственного контроля – второе [11]. Количество фиксируемых химических веществ исчисляется сотнями наименований. Замеры

содержания в воздухе рабочей зоны углекислого газа в Российской Федерации осуществляются в мизерном количестве – до 0,01% от всех измерений концентрации химических веществ. В итоге мы не знаем истинного масштаба проблемы.

С учетом того, что ПДК устанавливаются для каждого отдельно взятого загрязняющего вещества, без учета сочетанного воздействия с другими веществами, реальное негативное воздействие в совокупности существенно выше, чем устанавливается в результате замеров испытательными лабораториями.

Надо полагать, что в крупных городских агломерациях и мегаполисах с высоким фоновым загрязнением атмосферного воздуха углекислым газом, как и прочими парниковыми газами, жизнеспособность организма снижается ускоренными темпами, по

сравнению с аналогичными по химическому загрязнению территориями, с более низким фоновым загрязнением.

Не учитывать фоновое загрязнение окружающей среды в оценке условий труда нельзя, поскольку работникам приходится не только дышать загрязненным воздухом, но, и выполнять производственные задания, порой сопряженные с тяжелым физическим трудом, без компенсации за наличие вредных и опасных производственных факторов.

В связи с этим предлагается, как первая попытка учета сочетанного действия повышенной концентрации углекислого газа сверх 350 ppm, ввести в расчетную часть протоколов измерений для условий транспортных систем городских агломераций повышающий коэффициент, равный константе  $A$  формулы Гомперца-Мейкема.

### Выводы

1. ПДК углекислого газа для атмосферного воздуха в Российской Федерации не разработаны. ПДК<sub>сс</sub> и ПДК<sub>мр</sub> для воздуха рабочей зоны представляются чрезмерно завышенными.

2. Фоновое загрязнение воздуха углекислым газом и иными вредными ингредиентами выхлопных газов в транспортных системах городских агломераций может и должно быть учтено при проведении специальной оценки условий труда и производственного контроля за счет введения в расчетную часть протоколов измерений повышающего коэффициента. 

## Литература

1. Ермолаев, В.С. Парниковый эффект: диоксид углерода и антропогенный фактор / В.С. Ермолаев, М.В. Иночкин, И.П. Пузык, М.В. Пузык // Общество. Среда. Развитие. — 2007. — №2(3). — С. 77–82.
2. Об утверждении гигиенических нормативов ГН 2.1.6.3492-17 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений (вместе с «ГН 2.1.6.3492-17. Гигиенические нормативы...»)[Электронный ресурс]: постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 22.12.2017 №165 (ред. от 31.05.2018) <http://www.consultant.ru>.
3. Об утверждении гигиенических нормативов ГН 2.2.5.3532-18 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны (вместе с «ГН 2.2.5.3532-18. Гигиенические нормативы...»)[Электронный ресурс]: постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 13.02.2018 №25 <http://www.consultant.ru>.
4. Совокупные выбросы парниковых газов <https://rosstat.gov.ru/folder/11194>.
5. ГОСТ Р ЕН 13779-2007. Вентиляция в нежилых зданиях. Технические требования к системам вентиляции и кондиционирования. Национальный стандарт Российской Федерации. [Электронный ресурс]: утв. Приказом Ростехрегулирования от 27.12.2007 №616-ст. <http://www.consultant.ru>.
6. Сайт Правительства Москвы [http://www.dpioos.ru/eco/ru/air\\_today/n\\_89](http://www.dpioos.ru/eco/ru/air_today/n_89).
7. Глобальная карта ветров, погодных условий и морских течений <https://earth.nullschool.net/#current/chem/surface/level/overlay=co2sc/orthographic=-328.75,44.88,414/loc=16.881,50.795/>
8. Крутько, В.Н. Методологические подходы к количественной диагностике старения человека / В.Н. Крутько, В.И. Донцов // Вестник восстановительной медицины. — 2011. — №6. — С. 55–59.
9. Донцов, В.И. Снижение скорости старения человека со второй половины 20-го века / В.И. Донцов, В.Н. Крутько, О.В. Митрохин // Доклады Российской академии наук. Науки о жизни. — 2020. — Т.491, №1. — С. 146–150.
10. Стожаров, А.Н. Медицинская экология : учеб. пособие / А.Н. Стожаров. — Минск: Выш. шк., 2007. — 368 с.
11. Аксёнов, В.А. Оценка влияния химической компоненты воздуха рабочей зоны на профессиональную заболеваемость работников транспорта / В.А. Аксёнов, А.М. Завьялов, В.Е. Бурак, Е.А. Сорокина // Наука и техника транспорта. — 2019. — №4. — С. 74–79.
12. Заболотских, В.В. Синергические эффекты при одновременном воздействии физических и химических факторов / В.В. Заболотских, А.В. Васильев, Ю.П. Терещенко // Известия Самарского научного центра Рос. академии наук. — 2016. — Т2, №5 (2). — С. 290–295.

## ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ УСЛОВИЙ ТРУДА РАБОТНИКОВ, СВЯЗАННЫХ С ПЕРЕВОЗКОЙ СЫПУЧИХ ГРУЗОВ



**В.В. Самойлов**



**О.С. Сачкова**

В данной статье рассмотрены условия труда работников, задействованных при работах с сыпучими грузами и предложены пути улучшений условий труда.

*Ключевые слова:* погрузочно-разгрузочные работы, охрана труда, сыпучие грузы, перевозка грузов, профессиональные заболевания

Углеводородное сырье является одним из традиционно добываемых в мире. Оно представляет собой значительную часть объемов используемых в настоящее время и имеет неплохую перспективу на следующие 20–50 лет. Это подтверждается ростом мирового потребления угля в течение 10 лет более чем на пятьдесят процентов.

На сегодняшний день, несмотря на технологическое развитие, самым используемым сырьем для получения энергии является уголь. Россия входит в первую тройку стран по объемам добычи и занимает лидирующие позиции в объемах наиболее ценных видов угля среди которых: каменные угли, коксующиеся угли и антрациты. Добыча угля активно ведется в 1/3 субъектах РФ, образуя около 200 тысяч рабочих мест на свыше 180 предприятиях. В настоящий момент основной проблемой в перевозке угольных

грузов является минимизация загрязнения окружающей среды и объектов инфраструктуры железной дороги, обусловленных потерей грузов и обеспечения его безопасности [1–5].

На сегодняшний день, основной причиной потерь грузов мелкой фракции и, как следствие, экономических потерь, связано с увеличением скорости движения поездов при железнодорожных перевозках.

Кроме указанной причины, при перевозке сыпучих грузов возникает такое явление, как выдувание мелких фракций воздушным потоком, возникающее при движении вагона. Также, потери груза зачастую связаны с высыпанием мелких фракций груза под воздействием вибрации в процессе движения в конструктивные зазоры кузова вагона. Кроме того, нередки осыпания груза из-за загрузки вагонов выше бортов.

---

**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 четырех 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 183 научных работ, в том числе пяти монографий, четырех учебников и восьми учебных пособий. Имеет пять патентов на изобретения.

**Апатцев Владимир Иванович**, доктор технических наук, профессор, советник при ректорате Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: организация и управление транспортными процессами. Автор около 200 научных и учебно-методических трудов.

Потеря сыпучих грузов при перевозке приводит к загрязнению полосы отвода железнодорожного пути и окружающей среды [6].

В процессе транспортировки угля можно выделить две основные группы загрязняющих веществ:

- газообразные вещества (основные: CO, углеводороды, SO<sub>2</sub>, NO, CO<sub>2</sub>);
- твердые частицы (пыль угольная, сажа, зола, шлак).

На железнодорожных объектах инфраструктуры предусмотрен ряд мероприятий по борьбе с пылью, которые можно разделить на следующие основные виды:

- мероприятия, направленные на снижение пылеобразования за счет связывания тонкодисперсных частиц угольного пласта (предварительное увлажнение перед погрузкой).
- мероприятия, позволяющие удалить пыль из зоны погрузки при воздействии на нее воздушными потоками (применение систем пылеотсоса).
- технологии по подавлению образовавшейся пыли в момент ее распыления и в процессе витания при перевозке (распыляемой водой) — различные виды орошения, водяные и туманообразующие завесы (рис. 1).

Перевозка угля включает в себя следующие грузы (рис. 2) [7].

В зависимости от расстояния перевозка угля на железной дороге осуществляется с помощью полувагонов, вагонов-хопперов открытого типа, платформ с высокими бортами.

Одним из основных пылящих процессов является погрузка и разгрузка угля в железнодорожные полувагоны. Анализ современных исследований показал,

что самым интенсивным источником пылевыделения являются открытые поверхности грузовой массы, площадь которых зависит от типа подвижного состава, используемого при перевозке сыпучих грузов или угля. Запыленность воздуха в зависимости от расстояния от места погрузки может достигать значений 50–100 мг/м<sup>3</sup>. Основным объемом пылевой фракции как правило образуется на операциях погрузки независимо от способа и технических средств используемых в различных технологиях, при этом ее объем зависит от многих параметров, среди которых основное значение придается скорости удара о дно емкости, в котором осуществляется перевозка (рис. 3).

Другие характеристики объема пылевой фракции зависят от скорости распространения воздушной массы. Наиболее объемные выделения пыли возникают при загрузке горной массы в полувагоны с высоты от 10 до 20 м.

Значительную роль, определяющую объемы выделения пыли играют климатические условия полигонов в которых перемещаются сыпучие грузы при этом следует отметить, что повышенная температура и минимальные значения влажности способствуют существенному росту выделению пылевой фракции. Последнее приводит к тому, что объемы пылеобразования приводят к существенным величинам потерь веса (до 1–3%). Уже незначительное увеличение влажности приводит к существенному с ее ростом уменьшению доли пылевыделения, что может свидетельствовать о существенном снижении объемов выделения. Однако это не может быть использовано как инструмент пылеподавления. Приходится для



Рис. 1. Создание высоконапорных водяных завес

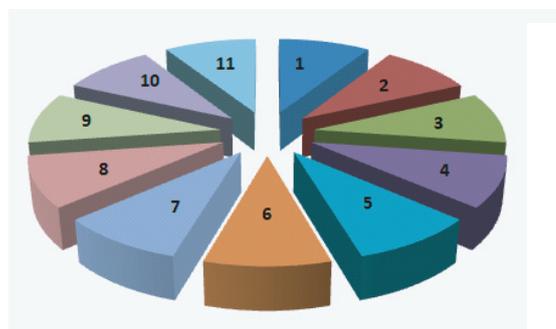


Рис. 2. Виды перевозимых углей:

- 1 – шлак угольный;
- 2 – шихта угольная;
- 3 – уголь каменный всякий;
- 4 – уголь гранулированный;
- 5 – уголь бурый;
- 6 – топливо печное каменноугольное;
- 7 – промпродукт угольный;
- 8 – концентрат угольный;
- 9 – кокс пековый каменноугольный;
- 10 – брикеты каменноугольные;
- 11 – брикеты буроугольные

этого использовать принудительные увлажнения поверхности сыпучих грузов с помощью различных технологий и состава растворов (рис.4).

Однако при переработке и перевозке угля нужно учитывать особенность эксплуатации железнодорожного транспорта, в пути следования наблюдается быстрая потеря несвязанной влаги, что приводит к повышению пылевыведения за счет ветровой энергии. Работники профессий, осуществляющих погрузку-разгрузку сыпучих грузов, сталкиваются с множеством негативных факторов, среди которых: шум, вибрация, напряженность, а также повышенная запыленность воздуха. Повышенная запыленность представляет собой наибольший риск для здоровья работника. Далее рассмотрим влияние пыли на состояние здоровья работников, осуществляющих погрузку-разгрузку грузов.

Из всех профессиональных заболеваний, возникающих на исследуемом авторами производстве, около половины заболеваний связаны с воздействием пыли. Процентное соотношение представлено на рис. 5.

Работники, осуществляющие погрузочно-разгрузочные работы в наибольшей степени подвержены влиянию угольной и породной пыли, а также прочим вредным производственным факторам. В результате проведенного авторами анализа профессиональных заболеваний установлена взаимосвязь увеличения роста пылевыведения и, что характерно, професси-

ональных патологий органов дыхания в зависимости от снижения механизации.

Согласно статистическим данным и проведенным исследованиям, наибольшему риску появления пневмокониоза подвержены работники в возрасте от 50 до 55 лет. Пневмокониозами, получившими наибольшее распространение среди работников являются антракозы и силикозы [8].

Пылевой фактор является одним из главных угроз здоровью работников, связанных с перевозкой сыпучих грузов, такой вывод можно сделать на основании приведенных выше данных.

Зная преимущества и недостатки современных технологий пылеподавления можно сделать вывод о том, что данные способы пылеподавления не дают ожидаемого результата, из-за быстрого испарения влаги с поверхности сыпучих грузов, а также из-за малой критической скорости сдувания пылевидного материала [9]. Для решения данного вопроса старые решения не подходят или не дают желаемого результата, поэтому необходимо создать принципиально новый метод решения пылеподавления. К такому решению можно отнести агломерирующий гидросорбционный эмульгатор, способный обеспечить достаточное пылеподавление путем создания защитной пленки, который не позволит образовываться пыли и при этом будет безопасным для работников, задействованных в погрузочно-разгрузочных работах. Последнее может в значительной степени решить проблему пылеподавления. 



Рис. 3. Погрузка угля в полувагоны



Рис. 4. Пылеподавление при разгрузке полувагона

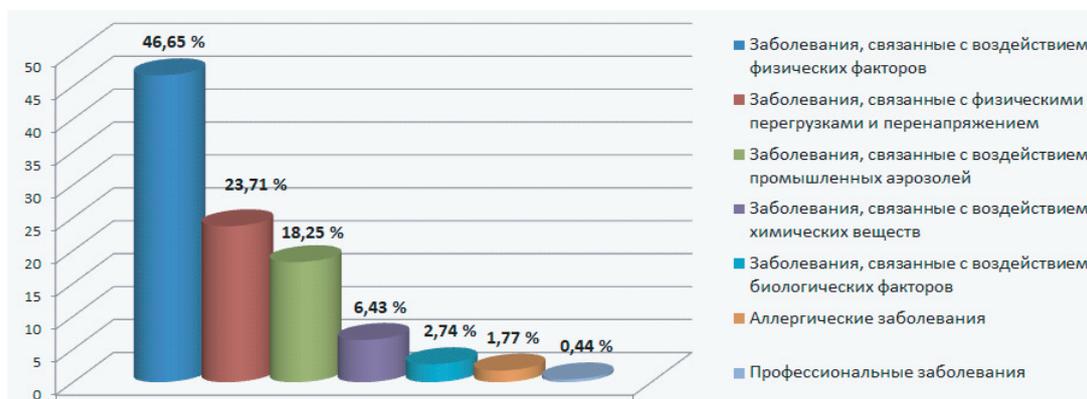


Рис. 5. Процентное соотношение профессиональных заболеваний, обусловленных воздействием различных вредных производственных факторов

## Литература

1. Рашевский, В.В. Качество углей ОАО «СУЭК» / В.В. Рашевский, В.Б. Артемьев, С.А. Селютин – М.: Кучковое поле, 2011. – 576 с.
2. Коршунов, Г.И. Исследование влияния степени метаморфизма и физико-химических свойств добываемых углей на смачиваемость образующейся пыли / Г.И. Коршунов, А.В. Корнев, А.Х. Ерзин, А.М. Сафина // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 1 (специальный выпуск 6). – С. 3–10.
3. Методические рекомендации по применению классификации запасов к месторождениям углей и горючих сланцев / Министерство природных ресурсов Российской Федерации. – М.: 2005. – 34 с.
4. Таразанов, И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь–июнь 2014 года / И.Г. Таразанов // Уголь. – 2019. – №9. – С. 61–76.
5. Чигрин, В.Д. Анализ причин производственного травматизма и аварийности в угольной промышленности / В.Д. Чигрин, В.В. Фанайлов // Безопасность труда в промышленности. – 2001. – № 4. – С. 18–23.
6. Рубан, А.Д. Способы и параметры комплексной технологии дегазации и увлажнения угольных пластов / А.Д. Рубан, В.Б. Артемьев, В.С. Забурдяев и др. – М.: Издательство «Горная книга», 2010. – 500 с.
7. Подображин, С.Н. Повышение эффективности увлажнения угольных пластов для предотвращения пылеобразования / С.Н. Подображин // Безопасность труда в промышленности. – 2010. – №6. – С. 28–30.
8. Коршунов, Г.И. Эффективность применения поверхностно-активных веществ для борьбы с угольной пылью / Г.И. Коршунов, Е.В. Мазаник, А.Х. Ерзин, А.В. Корнев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – №3. – С. 55–61.
9. Самойлов, В.В. Вопросы обеспечения экологической безопасности и охраны труда при перевозке угля железнодорожным транспортом / В.В. Самойлов, О.С. Сачкова // Наука и техника транспорта. – 2020. – №4. – С. 94–97.

## К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛЕЙ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ПРИМЕСЕЙ ОТ РАЗНООБРАЗНЫХ ИСТОЧНИКОВ



О.В. Воронов



В.В. Быкадоров

Представлен анализ закономерностей расчета рассеяния загрязняющих примесей в пограничном слое атмосферы с учетом особенностей их пространственно-временного распределения и физико-математическое моделирование процессов диффузии загрязняющих примесей антропогенного происхождения.

*Ключевые слова:* пограничный слой атмосферы, метрологические (аэрологические) измерения или метрологический прогноз

**Ж**елезные дороги, наряду с положительным влиянием на развитие экономики тех регионов, где они строились, наносят непоправимый ущерб экологии [14;20]. Негативное влияние железнодорожного транспорта проявляется, главным образом, через загрязнение водных источников, почвы и растительности вредными веществами.

Важное значение с точки зрения метеорологических аспектов загрязнения атмосферы имеют исследования закономерностей распространения атмосферных примесей и особенностей их пространственно-временного распределения, так как они являются основой для объективной оценки состояния и тенденции изменений загрязнения воздушного бассейна, а также разработки возможных мероприятий по обеспечению чистоты атмосферы. С исследованиями связано определение репрезентативных мест и времени наблюде-

ний в целях создания систем контроля за чистотой воздуха, разработки стратегии ограничения и регулирования выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Моделирование вышеперечисленных процессов в настоящее время выполняется на основе расчетов программных комплексов, включающих в себя модели атмосферы [8–12;17–19;21;22], Мирового океана, подстилающей поверхности [1;9;16], морского льда и ряда других [3]. Каждый компонент совместной модели при этом должен правильно воспроизводить физику процессов соответствующей среды в условиях, когда другие компоненты заменяются данными реанализа.

В этой связи наряду с проведением экспериментальных исследований условий распространения загрязняющих веществ в атмосфере и выявления закономерностей их пространственно-временного

---

**Воронов Олег Викторович**, кандидат технических наук, магистрант кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» Луганского национального университета имени Владимира Даля. Область научных интересов: экологическая безопасность на транспорте, в транспортном строительстве. Автор 32 научных работ.

**Быкадоров Вадим Викторович**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой железнодорожного транспорта Луганского национального университета имени Владимира Даля. Область научных интересов: силовые установки транспортных средств. Автор 87 научных работ, в том числе трех монографий. Имеет 32 патента на изобретения.

**Тищук Людмила Ивановна**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Социально-гуманитарные, естественно-научные и общепрофессиональные дисциплины» филиала Ростовского государственного университета путей сообщения (РГУПС) в г. Воронеж. Область научных интересов: обработка металлов давлением и неразрушающий контроль. Автор 43 научных работ.

**Иванова Елена Ивановна**, ассистент кафедры железнодорожного транспорта Луганского национального университета имени Владимира Даля. Область научных интересов: подвижной состав железных дорог. Автор восьми научных работ.

распределения [2], важную роль играет физико–математическое моделирование процессов диффузии загрязняющих примесей как в приземном [1;4;9;15], так и в пограничном слое атмосферы (ПСА) (например, применение находящегося в свободном доступе программного комплекса FlexPart (<http://transport.nilu.no/flexpart>), разработанного Норвежским институтом исследования атмосферы [18], выявление профилей ветра и температуры в пограничном слое с помощью комплексных моделей WRF–ARW (Weather Research Forecast – прогноз и исследование погоды, США) [19;23], Enviro–HIRLAM, GEM–MACH [11], НОСТРАДАМУС, FLEXPART–WRF, HYSPLIT [17].

В разных конкретных задачах для расчета диффузии примеси требуются различные метеорологические величины. Существует несколько способов описания диффузии примеси в турбулентной среде, один из которых основан на рассмотрении турбулентности в переменных Лагранжа [1;9;17], другой способ основан на обобщении уравнения молекулярной диффузии [4–7;9], что приводит к так называемому полуэмпирическому уравнению диффузии. Эти задачи могут быть классифицированы на основе представлений о путях распространения примеси: она поступает от источника, переносится и рассеивается в ПСА, где может претерпевать дополнительные изменения (вступать в реакции, распадаться, выходить за пределы пограничного слоя в тропосферу или на подстилающую поверхность). Источник примеси может быть точечным [5–7], линейным или пространственным [17], мгновенным, длительно действующим или непрерывным [10;12].

Поведение облака или струи (факела) примеси определяется ее переносом и диффузией во внешней среде [16]. Важнейшим параметром переноса примеси является поле вектора скорости ветра  $V_i$ . Рассеяние в зависимости от модели диффузии рассчитывается через коэффициенты диффузии  $k_i(z)$  или же непосредственно через дисперсии координат частиц примеси относительно фиксированного начала  $\sigma_i$  и относительно центра тяжести облака  $\eta_i$  (здесь  $i=1, 2, 3$  соответствует горизонтальным координатам  $x, y$  и вертикальной  $z$ ). Наибольшую трудность вызывает определение характеристик рассеяния  $k_i, \sigma_i, \eta_i$ . В настоящее время эти параметры, как правило, задаются априорно, на основе обобщенных результатов диффузионных экспериментов [9;11;13]. При этом допускаются определенные погрешности, т.к. полученные результаты в какой-то мере носят локальный характер. Физически правильнее было бы выражать эти характеристики через параметры ПСА. При этом, однако, возникает ряд проблем, одной из которых является определение параметров пограничного слоя

из доступной метеорологической, аэрологической и синоптической информации, учет их временной и особенно пространственной изменчивости.

Для каждой переменной и каждого параметра должно быть точно указано время осреднения (время отбора или измерения). Поскольку атмосфера содержит вихри в широком диапазоне масштабов, при решении каждой конкретной задачи важно подобрать подходящее осреднение.

Все перечисленные выше переменные и параметры являются эйлеровыми характеристиками, т.е. они измеряются с помощью приборов, которые либо закреплены неподвижно, либо движутся в воздухе с постоянной скоростью (например, находясь в самолете). Однако диффузия – это лагранжев процесс, в котором воздействие атмосферы проявляется в результате безынерционного движения частиц, следующих за воздушным потоком. Таким образом, основная задача состоит в установлении связей между перечисленными выше эйлеровыми переменными и соответствующими лагранжевыми переменными. Обычно используется предположение о том, что в эйлеровой и лагранжевой системах отсчета все переменные являются одинаковыми с точностью до выбора временных масштабов (например, в этих системах равны энергии турбулентности).

В результате соотношение между характеристиками диффузии к турбулентности зависит от времени отбора проб, времени пролета и времени работы источника диффундирующей примеси.

В настоящее время наиболее широкое распространение на практике получили: статистические модели [8], гауссовы модели [16],  $K$ -теория диффузии, модели теории подобия и трехмерная стохастическая (Монте-Карло) модель лагранжевых траекторий [17].

Связи между искомым полем концентрации примеси и метеорологической информацией через модели диффузии и модели пограничного слоя в общем виде показаны на рис. 1. Под исходными данными здесь понимаются результаты обычных метеорологических и аэрологических измерений (в случае диагностического расчета диффузии примеси) или же прогнозируемые метеорологические элементы по картам погоды. В обоих случаях, но с разной степенью точности, они позволяют определить входные параметры, необходимые для применения той или иной модели ПСА. Выходные параметры модели позволяют в свою очередь определить входные параметры модели диффузии, зависящие от состояния атмосферы.

Остановимся, прежде всего, на переходе от выходных параметров модели ПСА к входным параметрам модели диффузии. Только один из них – профиль скорости ветра используется непосредственно.

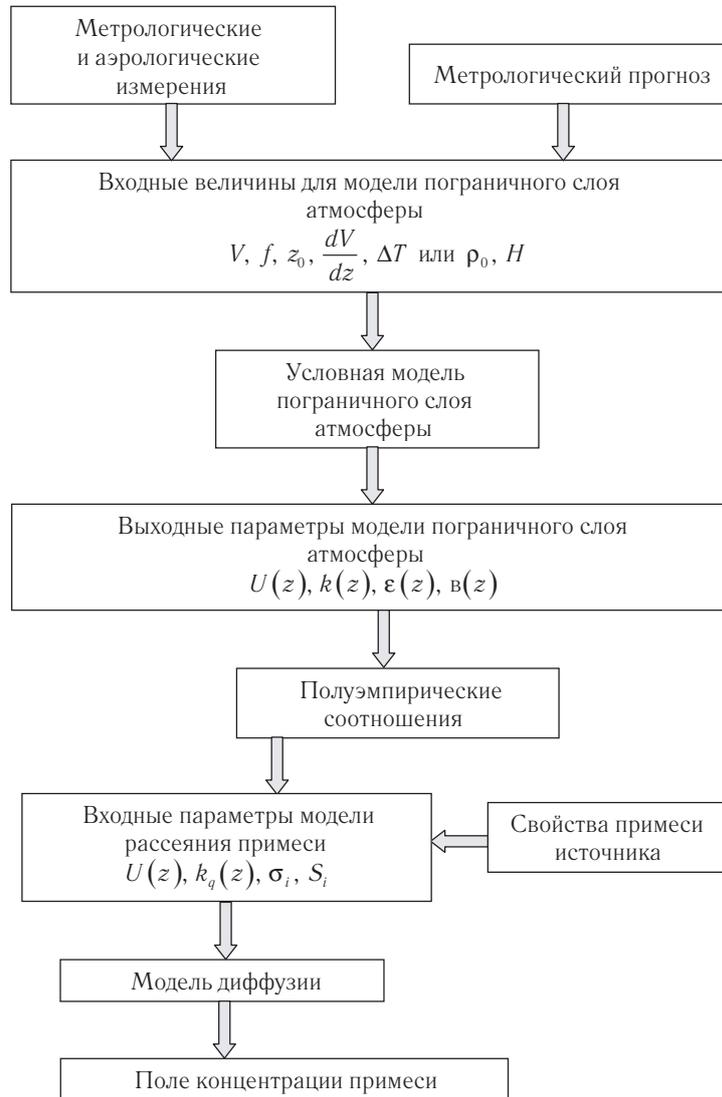


Рис. 1. Схема расчета рассеяния примеси по метеорологической информации

Что касается вертикальной составляющей коэффициента турбулентной диффузии, то из-за недостатка как теоретических, так и экспериментальных данных на практике [2; 15], он отождествляется с коэффициентом турбулентного обмена количеством движения или тепла, отношение между которыми также изучено недостаточно [10–13]. При малых временах диффузии вводятся соответствующие поправки.

В случае длительного действующего точечного источника для расчета рассеяния примеси необходимо знать дисперсию частиц в поперечном ветру направлении  $\sigma_y$ , как функцию времени диффузии или расстояния до источника  $x$ . Для расчета рассеяния облака примеси от мгновенного источника нужны аналогичные характеристики по всем трем направ-

лениям координат. Эти характеристики в настоящий момент не выражаются прямо через выходные параметры моделей ПСА [19; 21].

Обычно их связи с характеристиками устойчивости атмосферы и скорости ветра определяются на основе эмпирических соотношений, полученных по результатам диффузионных опытов в атмосфере [9–11]. Связав параметры этих эмпирических результатов с параметрами ПСА, можно достигнуть искомой цели. При этом следует заметить, что почти все современные модели ПСА позволяют определять величины  $k_i(z)$ , диссипацию энергии  $\epsilon(z)$  и полную кинетическую энергию  $v(z)$  только качественно, в отличие от профиля ветра, который определяется гораздо точнее [17].

Остановимся теперь на другом моменте — модели ПСА. Как известно, теория ПСА далека от завершения, соответствующих моделей имеется много [3;6; 8;11—13;19;21]. Одна из трудностей состоит в необходимости замыкания системы уравнений движения турбулентной жидкости. Другая связана с тем, что простейшая модель экмановского стационарного и горизонтально однородного ПСА не всегда с достаточной степенью точности отражает действительность [11]. Современные модели развиваются, с одной стороны, в сторону испытания более сложных способов замыкания, что позволяет надеяться на улучшение воспроизведения характеристик турбулентности, с другой — в сторону учета нестационарности, фазовых переходов, горизонтальной неоднородности поля ветра и подстилающей поверхности, условий на верхней границе и др.

Модель ПСА для задачи расчета переноса и диффузии примеси должна выбираться в зависимости от конкретной цели. Так, если необходимо учесть поворот ветра с высотой в ПСА и его зависимость от температурной стратификации, достаточно воспользоваться одной из интегральных моделей пограничного слоя, в которых  $k_z$  не зависит от вертикальной координаты, т.е.  $k_z = \text{const}$ .

Однако граничное условие прилипания при этом исказит результат, поэтому больше соответствует цели, например, модель [6], в которой на нижней границе используется закон сопротивления, опирающийся на характеристики приземного слоя. Эта модель воспроизводит качественно верно угол поворота ветра и его зависимость от стратификации. Однако если надо учитывать осаждение примеси на почву или если источник расположен вблизи подстилающей поверхности, то данная модель уже непригодна, т.к. она неправильно отражает диффузию вблизи источника и вблизи земной поверхности, где коэффициент турбулентности мал. Здесь нужна модель, учитывающая изменение  $k_z$  с высотой в приземном слое, например, [15].

В случае, когда необходимо учитывать вынос примеси за пределы пограничного слоя через верхнюю его границу, используемая модель должна воспроизводить механизм обмена со свободной атмосферой. Ясно, что в этом случае модель стационарного горизонтально однородного экмановского ПСА непригодна.

Рассмотрим теперь возможности получения входной информации, необходимой для использования модели ПСА. Это могут быть результаты метеорологических и аэрологических измерений, регулярно выполняемых органами Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды или отделами гидрометеорологии служб пути и со-

ружений ОАО «РЖД». Из этих данных необходимо получить следующие входные величины для модели: скорость геострофического ветра  $G$  и ее изменение с высотой (для учета бароклинности); параметр Кориолиса  $f = 2\omega \sin \varphi$ ; шероховатость местности  $z_0$ ; характеристика турбулентной стратификации (разность температур на нижней и верхней границах пограничного слоя  $\Delta T$ ) или приземный поток тепла  $H_0$ , для неэкмановского ПСА необходима еще его высота  $H$ . Перечисленных параметров достаточно, чтобы получать остальные с помощью модели [6;7].

Довольно сложной для определения оказывается характеристика местности — шероховатость. Обычно способы, основанные на использовании логарифмического профиля скорости ветра в приземном слое, пригодны только в случае горизонтально однородной подстилающей поверхности, в противном случае они дают лишь локальную характеристику. В виду сложности рельефа следует различать микрошероховатость, параметр, характеризующий приземный слой, и мезо- или макрошероховатость [12;15], которая может на порядок и более отличаться от микрошероховатости. Для определения мезо- и макрошероховатости нет единого общепринятого способа. Здесь пытаются использовать независимые определения динамической скорости  $U_*$  или выражения, позволяющие оценить шероховатость по данным о размерах препятствий и их расположении [3].

Поскольку модели пограничного слоя не очень чувствительны к значению параметра шероховатости, поэтому один из этих способов может быть применен для задач рассеяния примеси, причем масштаб осреднения должен соответствовать как площади, над которой распространяется примесь, так и площади, формирующей набегающий поток.

Возможен другой путь получения необходимой информации, опирающийся на приземные измерения. Для задач рассеяния примеси он достаточно приемлем. Зная шероховатость местности и скорость ветра на высоте флюгера, можно приближенно определить динамическую скорость  $U_*$ . Однако, пользуясь только приземными данными, очевидно, невозможно точно учесть бароклинность.

Рассмотрев кратко возможности получения параметров, необходимых для расчета рассеяния примеси, с помощью метеорологической и аэросиноптической, диагностической или прогностической информации, следует отметить, что с помощью модели можно достигнуть вполне удовлетворительного воспроизведения профилей ветра с учетом бароклинности: степень их погрешности будет определяться в основном степенью неточности входной информации. Необходимые для расчета рассеяния примеси харак-

теристики турбулентности также можно получить с помощью моделей ПСА, однако, степень адекватности их значительно ниже.

С определенной степенью допущения можно считать, что современные модели, пригодные для практического использования, позволяют удовлетворительно определять их только в нижней части ПСА и воспроизводить качественно их зависимости от входных параметров. В верхней части ПСА они могут быть рассчитаны с точностью до порядка, а в ряде случаев и ниже.

Поэтому любая модель рассеяния примеси, построенная на основе модели ПСА, для повышения надежности будет нуждаться в апробации, что выполнить технически не так просто, но возможно, например [15;17].

Возможные погрешности расчета и прогноза рассеяния примеси связаны не только с погрешностями измерения или прогноза входных величин, но и с их пространственной и временной изменчивостью. К таким изменениям относятся: суточная изменчивость, изменчивость, связанная с упорядоченным рельефом, обтеканием препятствий, береговой чертой, мезомасштабными атмосферными образованиями типа грозы, шквалов и др. Так, на равнине временная изменчивость типа суточного хода, как известно, приводит к тому, что в переходные периоды суток структура ПСА при одинаковых значениях входных параметров не идентична, так что для ее воспроизведения необходима нестационарная модель. Однако, зная степень неоднозначности связей между параметрами

пограничного слоя в суточном ходе, в задачах рассеяния примеси ею можно, как правило, пренебречь или, если необходимо, внести какие-то «прощенные поправки» в переходные часы. В то же время для учета влияния бризов вблизи береговой черты необходима специальная модель ПСА.

Когда же факторы изменчивости не дают четко определить или, когда они действуют в совокупности и в большом числе, используются статистические подходы [3;8]. Для задач рассеяния примеси наиболее важны сведения о мезомасштабной изменчивости скорости и направления ветра.

### **Выводы по работе и перспективы дальнейших исследований**

В целом применение моделей ПСА для расчетов рассеяния примеси по исходной метеорологической информации возможно и целесообразно. Модель ПСА должна выбираться в зависимости от конкретной постановки задачи. В качестве исходной метеорологической информации могут быть приняты результаты стандартных аэросиноптических метеорологических измерений, а в случае необходимости — информация, содержащаяся в краткосрочном прогнозе. Модель может опираться преимущественно на аэрологическую или приземную метеорологическую информацию. Пути преобразования этой информации во входные параметры ПСА принципиально известны, но для практического использования их при расчетах рассеяния примеси требуются дополнительные математические разработки. 

## Литература

1. Багров, А.Н. Комплексный прогноз приземных метеорологических величин / А.Н. Багров, Ф.Л. Быков, В.А. Гордин // Метеорология и гидрология. —2014. — №5. —С. 5–17.
2. Безуглая, Э.Ю. Пятьдесят лет наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха / Э.Ю. Безуглая, Т.П. Ивлева, И.В. Смирнова // Метеорология и гидрология. —2013. — №9. —С. 88–99.
3. Быков, Ф.Л. Статистическая коррекция прогнозов погоды по модели COSMO с помощью нейронных сетей / Ф.Л.Быков // Метеорология и гидрология. —2020. — №3. —С. 5–21.
4. Воронов, О.В. Модель наклонной дальности видимости и визуального обнаружения взлетно-посадочной полосы в задымленном пограничном слое атмосферы: дис. ... канд. техн. наук, 05.13.16./ Олег Викторович Воронов; Защищена 02.07.98. Утв.19.03.99.КТ №055804. —М, 1998. —254 с.
5. Воронов, О.В. К вопросу оценки загрязнения воздушной среды в результате эксплуатационной деятельности инфраструктуры железнодорожного транспорта / О.В. Воронов, В.А. Фисун // Наука и техника транспорта. —2015. — №2. —С. 16–21.
6. Воронов, О.В. Локальная математическая модель переноса загрязняющих веществ в пограничном слое атмосферы в результате эксплуатационной деятельности точечных промышленных источников / О.В. Воронов, Э.Х. Тасанг, С.А. Сметанин // Наука и техника транспорта. —2019. — №2. —С. 114–119.

О.В. Воронов, В.В. Быкадоров, Л.И. Тишук, Е.И. Иванова  
«К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛЕЙ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ  
ДЛЯ РАСЧЕТА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ПРИМЕСЕЙ ОТ РАЗНООБРАЗНЫХ ИСТОЧНИКОВ»

7. Воронов, О.В. Моделирование структуры пограничного слоя атмосферы по оперативной метеорологической информации с целью прогноза переноса загрязняющих веществ / О.В. Воронов, В.В. Быкадоров, А.А. Данилейченко // Наука и техника транспорта. – 2020. – №1. – С. 117–122.
8. Демченко, П.Ф. Статистическое моделирование среднесуточных концентраций загрязняющих веществ в атмосфере Московского мегаполиса методом множественной регрессии / П.Ф. Демченко, А.С. Гинзбург, Г.Г. Александров и др. // Метеорология и гидрология. – 2015. – №10. – С. 31–45.
9. Ефимов, А.Е. Метод определения потоков тепла, влаги и количества движения в стратифицированном приземном слое / А.Е. Ефимов // Метеорология и гидрология. – 2010. – №9. – С. 86–96.
10. Закарин, Э.А. Математическое моделирование загрязнения атмосферы города на основе геоинформационной системы / Э.А. Закарин, Б.М. Маркаримова // Известия АН. Физика атмосферы и океана. – 2000. – Т. 36, №3. – С. 366–375.
11. Зарипов, Р.Б. Расчёт концентраций загрязняющих веществ с использованием модели атмосферы WRF–ARW и химико-транспортной модели CHIMERE / Р.Б. Зарипов, И.Б. Коновалов, А.А. Глазкова // Метеорология и гидрология. – 2013. – №12. – С. 52–68.
12. Какарека, С.В. Использование модели AERMOD для оценки рассеивания выбросов формальдегида при производстве древесных слоистых материалов / С.В. Какарека, С.В. Саливончик, Ю.Г. Кокосх // Метеорология и гидрология. – 2019. – №5. – С. 40–50.
13. Комаров, В.С. Об опыте использования динамико-стохастического подхода в задаче сверхкраткосрочного прогноза параметров состояния пограничного слоя атмосферы / В.С. Комаров, А.В. Лавриненко, Н.Я. Ломакина, С.Н. Ильин // Научно-технический журнал Метеорология и гидрология. – 2014. – №2. – С. 23–33.
14. Купаев, В.И. Наблюдение и оценка состояния окружающей среды на железнодорожном транспорте: Учебное пособие для студентов вузов ж. -д. транспорта / В.И. Купаев, С.В. Рассказов, Семин А.В. / Под ред. В.И. Купаева. – М.: Маршрут, 2006. – 390 с.
15. Мазурин, Н.Ф. Измерение турбулентности приземного слоя атмосферы в черте города / Н.Ф. Мазурин, М.К. Мацкевич, В.Т. Мильченко, М.А. Новицкий // Метеорология и гидрология. – 2010. – №6. – С. 38–50.
16. Мущенко, Б.Л. Сравнение моделей расчёта максимальных приземных концентраций загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу / Б.Л. Мущенко // Безопасность жизнедеятельности. – 2007. – №5. – С. 46–49.
17. Рубинштейн, К.Г. Сравнение результатов моделей переноса 85Кг в атмосфере с данными натурального эксперимента ACURATE / К.Г. Рубинштейн, А.Н. Сафронов, Д.А. Припачкин и др. // Метеорология и гидрология. – 2017. – №3. – С. 41–58.
18. Рублев, А.Н. Уточнение прогноза распространения загрязняющих веществ в атмосфере с помощью математического моделирования и инструментальных измерений / А.Н. Рублев, Ю.В. Власова, Е.В. Горбаренко // Метеорология и гидрология. – 2013. – №5. – С. 36–48.
19. Смирнова, М.М. Оценка воспроизведения региональной моделью характеристик пограничного слоя атмосферы / М.М. Смирнова, К.Г. Рубинштейн, В.П. Юшков // Метеорология и гидрология. – 2011. – №12. – С. 5–17.
20. Чичин, А.В. Экологические проблемы железнодорожного транспорта и пути их решения / А.А. Чичин // Экономика железных дорог. – 2001. – №9. – С. 84–96.
21. Фадеев, Р.Ю. Климатическая версия модели атмосферы ПЛИАВ: разработка и первые результаты / Р.Ю. Фадеев, М.А. Толстых, Е.М. Володин // Метеорология и гидрология. – 2019. – №1. – С. 22–36.
22. Шнайман, В.А. Современные подходы к моделированию атмосферного пограничного слоя в региональных и мезомасштабных прогностических схемах / В.А. Шнайман, Л.В. Беркович, С.Н. Степаненко // Український гідрометеорологічний журнал, Розділ 2 Метеорологія та кліматологія. – 2006. – №1. – С. 33–47.
23. Skamarock W.C., Klemp J.B., Dudhia J., et al. Description of the Advanced Research WRF Version 3. – NCAR Technical Note NCAR/TN – 475+STR, 2008; doi: 10.5065/D68S4MVH.

## ОЦЕНКА ЗАВИСИМОСТИ РИСКОВ И УРОВНЯ ТРАВМАТИЗМА ОТ ПЕРИОДИЧНОСТИ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ



**В.П. Сычев**



**А.В. Сычева**

В статье анализируются нормативные документы ОАО «РЖД» на предмет влияния периодичности контроля железнодорожного пути на оценку рисков и уровень травматизма.

*Ключевые слова:* риски, травматизм, контроль, железнодорожный путь, вагон-путеизмеритель, отступления от норм

**Ж**елезнодорожный путь представляет собой объект повышенной опасности для пользователей услугами железнодорожного транспорта и работников, его эксплуатирующего. Под опасностью (опасным состоянием) будем понимать такое состояние железнодорожного пути, при котором создается опасность для здоровья и жизни потребителей услуг, железных дорог и работников, занятых на его обслуживании. Физическую опасность представляют движущийся подвижной состав и работающие на пути машины и механизмы. К опасным факторам, влияющим на здоровье людей, можно отнести: превышение уровня шума и вибрации, недостаточную освещенность рабочей зоны при работе на железнодорожном пути в ночное время, повышенную запыленность и загазо-

ванность рабочей зоны, возможное наличие радиоактивных веществ в засорителях, балласте, нервно-эмоциональное напряжение, тяжесть физического труда и др.

Под последствиями опасности будем понимать не только крушение, аварию, сход, но и превышение показателей, характеризующих состояние железнодорожного пути сверх установленных норм, например, появление отступления четвертой степени по показаниям путеизмерительного вагона, которое требует ограничения скорости на участке как предохранительная мера от аварии.

Под риском будем понимать частоту реализации опасностей, формируемых в процессе эксплуатации и обслуживания железнодорожного пути как соот-

---

**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.

**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 44 научных работ.

**Бестемьянов Петр Филимонович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте», директор Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: обеспечение безопасности движения поездов, автоматизированное и автоматическое управление поездами. Автор более 120 научных работ. Имеет 38 патентов на изобретения.

**Филиппов Виктор Николаевич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: экологическая безопасность, оценка рисков, парниковые газы, эксергетический анализ, обеспечение безопасности подвижного состава железных дорог, системы экологического менеджмента. Автор более 200 научных работ. Имеет 50 патентов РФ.

ношение числа возникновения опасных состояний объекта к общему числу потенциально опасных. Предположим, на железнодорожный путь для его обслуживания за год выходит один миллион человек, а количество зафиксированных травм составляет в год десять тысяч, тогда риск травмирования, как частота реализации опасностей составит  $10^{-3}$  в год [1–3].

Рассмотрим существующую систему текущего содержания железнодорожного пути по поддержанию его работоспособности, определяемую нормативными документами [4–6]. Функционально систему можно разделить на две взаимосвязанные подсистемы: мониторинг железнодорожного пути и управляющие воздействия на путь по поддержанию его работоспособности. В настоящее время создан широкий спектр диагностических средств, позволяющих, без присутствия человека на железнодорожном пути, получать и формировать информацию по оперативному выявлению неисправностей пути, оказывающих влияние на безопасность движения. Кроме того, средства диагностики способствуют качественной оценке содержания пути и планирования путевых работ, а также мониторинга оперативной информации об изменении состояния пути и формированию информации, необходимой для планирования работ по техническому обслуживанию пути и оценке качества работ по текущему содержанию пути. Также, для решения задач управления путевым хозяйством, средства диагностики позволяют накапливать в базах данных информацию о результатах мониторинга об изменениях состояния пути.

В ОАО «РЖД» применяются специализированные диагностические вагоны типа ЦНИИ-4, КВЛ-П, Интеграл, Эра, применение которых не требует присутствия человека на пути и использования ручных средств диагностики: измерительных тележек и переносных средств измерения, например, шаблонов [7;8].

Согласно [4;5] осмотры пути подразделяются:

- на натурные с применением ручных средств диагностики, подразумевающих личное присутствие человека на железнодорожном пути;
- на осмотры, не требующие личного присутствия человека на пути при сопровождении путеизмерительных и дефектоскопных автоматизированных вагонов, а также при проезде в локомотиве, хвостовом вагоне или дрезине.

Осмотры проводятся: специально назначенными контролерами состояния железнодорожного пути, а также лицами, осуществляющими или организующими выполнение работ по поддержанию железнодорожного пути в работоспособном состоянии, а именно:

монтерами пути, дорожными, мостовыми, тоннельными мастерами и мастерами по земляному полотну, начальниками участков, начальниками дистанций пути и их заместителями. Осмотры с присутствием человека на пути бывают: текущие, периодические, внеочередные, специальные, периодичность которых устанавливается ОАО «РЖД». Автоматизированные диагностические системы на базе специализированных вагонов (путеизмерители, дефектоскопы, путеобследовательские станции и т.д.) осуществляют контроль с периодичностью от 10 дней до месяца, а по искусственным сооружениям – до полугода. Результаты контроля состояния пути направляются в Единую корпоративную автоматизированную систему управления инфраструктурой (ЕК АСУИ) для долгосрочного хранения. В таблице 4.2 [4] приведены виды и сроки осмотров пути и специалистов, выходящих на путь с целью его осмотра, а именно:

- контролер состояния железнодорожного пути, самостоятельно осматривает путь, в ряде случаев совместно с электромехаником СЦБ;
- монтер пути, назначаемый на осмотр железнодорожного пути;
- обходчик искусственных сооружений;
- обходчик обвального участка;
- дежурный по переезду;
- операторы дефектоскопных и путеизмерительных тележек;
- дорожный мастер;
- мостовой (тоннельный) мастер;
- мастер по земляному полотну;
- начальник участка;
- начальник дистанции пути.

Соответственно, создается парадоксальная ситуация. С одной стороны активно внедряются автоматизированные диагностические средства с увеличением числа регистрируемых параметров, точности, скорости обработки информации и т.д. [7;8], разрабатываются ресурсосберегающие технологии контроля состояния пути этими средствами [9;10], интенсивно ведутся работы по снижению влияния человеческого фактора на оценку рисков и безопасности производственной деятельности на железнодорожном транспорте [11]. С другой стороны, число осмотров с участием человека на пути увеличивается, при этом введена новая должность контролера пути. Более того, не меняется периодичность прохода вагона-путеизмерителя, а фактически еще и уменьшается, так как кроме КВЛ-П отдельно эксплуатируется ВПС ЦНИИ-4. Аппаратно-программный комплекс ЦНИИ-4, сконструированный по принципу модуля, кроме оценки геометрических очертаний рельсовой

колеи по параметрам, определенным нормативными документами [6], призван осуществлять контроль визуальных параметров состояния пути, таких как:

- боковой износ рельсов;
- профиль головки рельса, наклон поверхности катания и подуклонки, длинные неровности в плане и профиле;
- ускорения в кузове вагона;
- визуализацию рельсовых стыков, зазоров;
- моделирование кривых, съемка плана и профиля главных и станционных путей, привязка к геометрическим координатам пути с помощью ГЛОНАСС/GPS, а формируемая база данных по кривым и износу позволяет автоматически выдавать задание вагону-лубликатору, рассчитывать оптимальный объем выгрузки балласта.

Тем не менее, при наличии такого рода технических средств железнодорожный путь осматривается чаще и большим количеством работников, выходящим на железнодорожные пути, повышая тем самым уровень травматизма на железной дороге. Фактически люди выходят на путь, чтобы вручную перепроверить показания автоматизированных диагностических средств, например [4] «Рельсовая колея осматривается, в том числе с помощью бинокля, на предмет выявления местных неровностей пути в профиле и плане, требующих устранения...». Или там же [4]: «Стыковые зазоры осматриваются сплошь. Для измерения зазоров используется металлический клин или универсальный шаблон модели 00316 с делениями, который заводится в зазор с внешней (не рабочей) грани головки рельсов на уровне средней ее части». Однако вагон-путеизмеритель измеряет и оценивает эти же параметры со скоростью до 80 км/ч. При этом, согласно требованиям нормативных документов ОАО «РЖД» дорожный мастер, а за ним и контролер должны перемерять металлическим клином зазоры «сплошь», то есть по всей контролируемой длине и смотреть в бинокль на путь, выявляя местные неровности, которые путеизмеритель записал и автоматически обработал.

Анализ уровней допустимого риска и показателей безопасности в качестве баланса между расходами на обеспечение и поддержание заданного уровня безопасности и ущербами от нарушения безопасности движения приведен иллюстративно на рис. 1 в виде схемы зависимости числа выявленных опасных ситуаций  $n$  и расходов на диагностику пути  $p$ . При анализе под опасными ситуациями понимали наличие отступлений от норм содержания пути, вызвавших ограничения скорости движения, а под расходами — число проверок участка, умноженное на количество работников, проводивших осмотр контролируемого участка.

Сплошная линия характеризует состояние на период 2000–2012 гг., штрихпунктирная — с 2016 по 2019 гг., то есть после принятия новой редакции инструкции по текущему содержанию пути.

График составлен на основе анализа дипломных и магистерских ВКР по профилю «Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог». Анализ показал, что точка оптимума незначительно смещается в сторону увеличения числа выявленных опасных ситуаций при существенном увеличении количества осмотров пути. Статистический анализ, проведенный для других участков пути с разными эксплуатационными и техническими характеристиками, показал, что расходы на осмотры пути растут быстрее, чем количество выявляемых опасных ситуаций, причем в отдельных случаях число выявляемых опасных ситуаций снижалось при одновременном существенном увеличении расходов на осмотры. При этом следует отметить, что не учитывались расходы на накопление, обработку и анализ информации.

Тем не менее, допустимый уровень риска и показателей безопасности, при которых достигается баланс между расходами на обеспечение и поддержание заданного уровня безопасности и ущербами от нарушения безопасности не обеспечивается.

Представляя риск как вероятность потерь или как вероятность получить результат осмотра пути, отличный от допустимого, определяемого нормами содержания железнодорожного пути и рассматривая опасное состояние как обнаружение отступлений третьей и четвертой степеней, следует, что риском

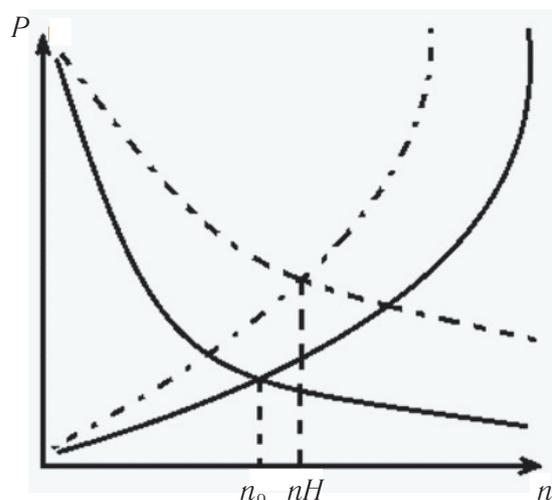


Рис. 1. Анализ расходов на осмотры пути и числа выявленных опасных ситуаций

будет служить появление отступления третьей, четвертой степеней между двумя соседними проходами вагона-путеизмерителя. Мера риска в этом случае есть соответствие события и последствия потерь от этого события.

Для анализа меры риска было выбрано несколько участков пути, информация о проверках которых выбиралась из ежемесячных отчетов дорожных путеизмерительных вагонов (ведомостей ПУ-32), а технические и эксплуатационные участки — из системы баз данных путевого хозяйства (ЕКАСУИ) [5;12]. Протяженность участков составляла от 30 до 180 км.

На рис. 2 приведен один из графиков, характеризующих динамику выявляемых на участке отступлений второй, третьей и четвертой степеней по результатам проходов вагона-путеизмерителя.

По оси абсцисс указано число проходов вагона-путеизмерителя, по оси ординат — среднее количество отступлений в штуках на один километр пути как сумма всех отступлений отдельно взятых второй, третьей и четвертой степеней на всем участке, деленная на число километров на участке. Точками указаны отступления вторых степеней, окружностью третьей и квадратом четвертой степеней. Аппроксимации подвергались только отступления вторых степеней, которые сглаживались линейной регрессией по известной формуле [13]:

$$f(x,b)=b_0+b_1x_1,$$

где  $b_1$  и  $b_0$  — параметры модели.

Отступления 3-й и 4-й степеней единичны и являлись выбросами случайного процесса, для которых уравнение регрессии не строилось в силу малого объема выборки. Как видно, интенсивность роста отступлений второй степени во времени (от числа проходов вагона-путеизмерителя) незначительна и выброс (отступление 3-й степени) случился для данного примера на 9-м контрольном проходе путеизмерительного вагона, а фактически согласно [5:6] — на 18-м. Практически отсутствует тенденция к увеличению или уменьшению количества отступлений. Анализ по величинам среднеквадратических отклонений (СКО) параметров, описывающих геометрию колеи, регистрируемых путеизмерительным вагоном, показал, что параметры за период эксплуатации оказались еще более стабильными, чем оценка километра по количеству выявленных отступлений. Это объяснимо тем, что оценка СКО в меньшей степени зависит от погрешностей измерений, которая присутствует при оценке километра по числу отступлений.

Таким образом, риск внезапного появления опасных ситуаций по обнаружению отступлений третьей и четвертой степеней в интервалы между проходами вагонов путеизмерителей непропорционален ожидаемым потерям, которые являются следствием этого события. Анализ применения нормативных документов, определяющих периодичность осмотров пути, количество должностных лиц, осуществляющих осмотр и используемых диагностических средств осмотра, показал неадекватность расходов и меры риска. Анализ иностранного опыта мониторинга состояния

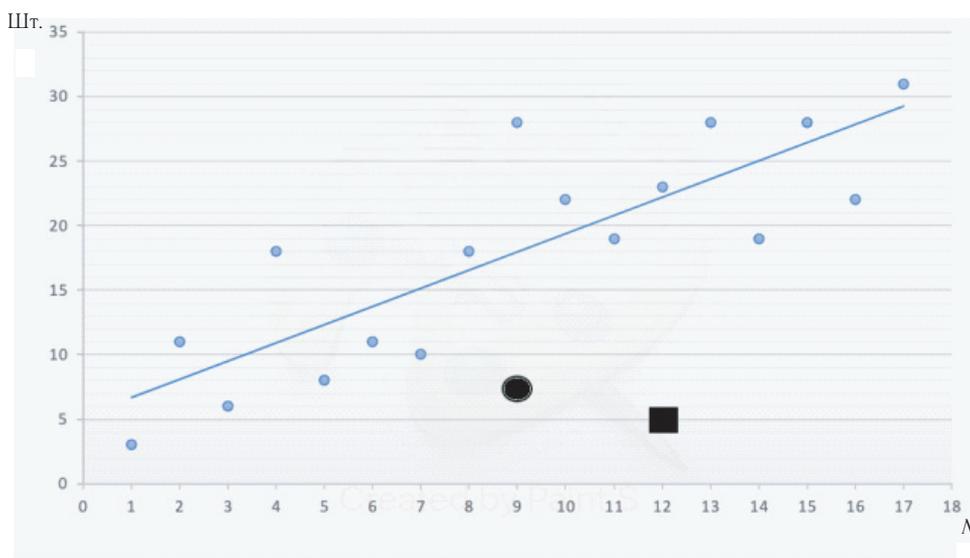


Рис. 2. Динамика выявленных отступлений по участку пути

железнодорожного пути показывает, что за рубежом налицо тенденция к уменьшению количества проверяющих и увеличению периодичности осмотров. При этом применение путеизмерительных средств нового поколения с автоматической оценкой состояния пути с возможностью формирования матрицы наблюдений за работой пути за длительный промежуток времени позволяет оценивать устойчивость эксплуатации железнодорожного пути и величину риска появления неисправностей железнодорожного пути [14–17].

Авторами предлагается уменьшить периодичность проверок за счет прогнозирования развития неисправностей рельсовой колеи; применения современных методов оценивания процессов, происходящих при взаимодействии колесо-рельс. В этом случае не только сократятся расходы на содержание инфраструктуры, но и снизится средний уровень за счет уменьшения персонала, выходящего на железнодорожный путь и автоматизации процессов производства путевых работ. 

## Литература

1. Метод оценки профессиональных рисков в структурных подразделениях железнодорожного транспорта / В.А. Аксенов, А.М. Завьялов, Ю.В. Завьялова, И.Н. Синякина // В сборнике Техносферная безопасность, надежность, качество, энерго- и ресурсосбережение. Материалы 21-й Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2019. – С. 88–94.
2. Оценка влияния человеческого фактора на надежность производственных процессов и технических систем железнодорожного транспорта / В.А. Аксенов, А.М. Завьялов, И.Н. Синякина, Ю.В. Завьялова // Наука и техника транспорта. – 2019. – №2. – С. 120–125.
3. Локтева, О.С. Нулевой травматизм и возможность его достижения в транспортной отрасли / О.С. Локтева, А.А. Локтев // Наука и техника транспорта. – 2020. – №2. – С. 87–93.
4. Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути, утверждённая распоряжением ОАО «РЖД» №2288р от 14.11.2016.
5. Положение о порядке контроля состояния главных и станционных путей путеизмерительными средствами. Распоряжение № 678 р от 7.04.2017.
6. Инструкция по расшифровке лент и оценке состояния рельсовой колеи по показаниям путеизмерительного вагона ЦНИИ-2 и мерам по обеспечению безопасности движения поездов, №ЦП-515 от 14.10.1997.
7. Кулешов, П.Н. Скоростные путеобследовательские станции ЦНИИ-4 / П.Н. Кулешов // Наука и транспорт. Модернизация железнодорожного транспорта. – 2013. – № 2(6). – С. 32–33.
8. Зензинов, Б.Н. Повышение эффективности диагностических комплексов Эра и Интеграл / Б.Н. Зензинов, Ю.Р. Трушина // Путь и путевое хозяйство. – 2013. – №2. – С. 2–6.
9. Мазов, Ю.Н. Ресурсосберегающая технология контроля пути мобильными средствами диагностики / Ю.Н. Мазов, В.И. Шишкин, В.П. Сычёв // Путь и путевое хозяйство 2018. – №7. – С. 7–9.
10. Тарабрин, В.Ф. Комплексование методов, разработка и внедрение систем диагностики рельсового пути / В.Ф. Тарабрин // Контроль. Диагностика. – 2018. – №9. – С. 30–47.
11. Аксенов, В.А. Повышение безопасности производственной деятельности на железнодорожном транспорте на основе снижения влияния человеческого фактора / В.А. Аксенов, А.М. Завьялов // В кн: Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества. Сборник тезисов докладов Международной научно-технической конференции «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества». – Москва, 16–17 мая 2018 года. – М.: Академия имени Н.Е. Жуковского, 2018. – С. 113.
12. Зензинов, Б.Н. Экспериментальная проверка моделей определения закономерностей появления отступлений в содержании рельсовой колеи в условиях неполной информации / Б.Н. Зензинов, П.В. Сычев, Ю.Р. Трушина // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. М. – 2018. – №13 (13). – С. 67–75.
13. Локтев, А.А. Статистические методы обработки результатов инженерных изысканий [Текст]: учебное пособие / А.А. Локтев, А.В. Сычева. – Москва: АИСнТ, 2017. – 175 с.
14. 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.

15. Абдурашитов, А.Ю. Прогнозирование ресурса верхнего строения пути в процессе эксплуатации / А.Ю. Абдурашитов, П.В. Сычев // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. –2017. –Т.11, №11-11 (11). –С. 62–67.

16. Локтев, А.А. Прогнозирование развития отступлений от норм содержания рельсовой колеи до неисправности, влияющей на перевозочный процесс / А.А. Локтев, П.В. Сычев // Наука и техника транспорта. –2018. –№4. –С.17–26.

17. Оценка качества ремонтов пути на основе прогнозирования упругой осадки пути и минимизации затрат на после ремонтное текущее содержание / А.В. Сычева, А.Ю. Абдурашитов, П.В. Сычев, Н.В. Кузнецова // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. –2018. –№13(13). –С. 89–93.

# АНАЛИЗ И ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОБЪЕКТАХ ОАО «РОССИЙСКИЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ» ПО ИТОГАМ 2019 ГОДА



А.И. Шевченко



В.В. Денисов

В статье изложены анализ и оценка состояния пожарной безопасности на объектах ОАО «Российские железные дороги» (далее – ОАО «РЖД») по итогам 2019 года, проведенные с применением методик риск-менеджмента.

*Ключевые слова:* перевозочный процесс, пожарная безопасность, противопожарный режим, риски чрезвычайных ситуаций (ЧС)

**Ж**елезнодорожный транспорт России как сложная, многоуровневая, многофункциональная, расположенная на огромной территории, в различных климатических зонах и различных зонах потенциальных угроз при возникновении ЧС природного и техногенного характера, в том числе и связанных с пожарами, система, в связи с вышеизложенными особенностями весьма уязвима от воздействия опасных факторов ЧС, вызванных пожарами.

## **Общее положение по пожарам в ОАО «РЖД» в 2019 году [3;8]**

В 2019 г. на объектах и подвижном составе ОАО «РЖД» зарегистрировано 154 пожара (2018–74) из которых по ответственности за хозяйствами отнесено 46 пожаров (2018–34). Основной причиной роста пожаров является учет пожаров в полосе отвода железных дорог (58 случаев), которые ранее учитывались как загорания. На пожарах погиб 1 человек

(в 2018 г. гибели работников Компании не допущено). Из общего количества пожаров: на подвижном составе зарегистрирован 51 случай, из которых по ответственности за хозяйствами отнесено 16 случаев, прямой материальный ущерб составил 41,2 млн рублей из которых по ответственности – 5,7 млн руб.; на стационарных объектах зарегистрировано 45 случаев, из которых по ответственности отнесено 27 случаев, прямой материальный ущерб составил 43,6 млн руб., из которых по ответственности – 41 млн руб.; в полосе отвода – 58 случаев, из которых 3 случая отнесены по ответственности за хозяйствами, материального ущерба не нанесено.

Общий прямой материальный ущерб от пожаров составил 84,7 млн руб., из которых 46,7 млн руб. отнесены за хозяйствами (в 2018 г. 39,6 млн руб., по ответственности – 25,3 млн руб.).

Количество пожаров на объектах и подвижном составе прочих организаций, пользующихся инфра-

---

**Шевченко Анатолий Иванович**, кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Комплексная безопасность и специальные программы» Российской академии путей сообщения Российского университета транспорта (РАПС РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: обеспечение безопасности и устойчивости перевозок в чрезвычайных ситуациях. Автор 38 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 девяти научных работ.

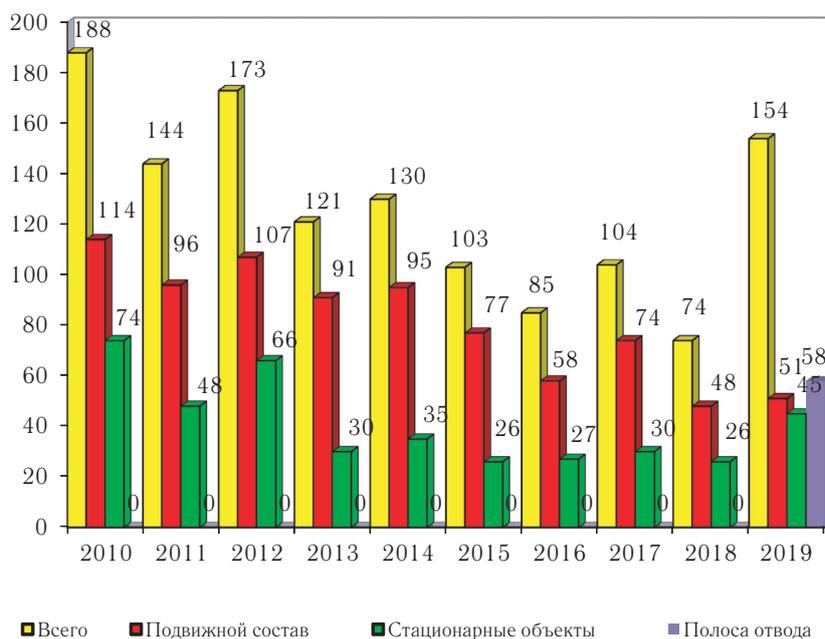


Рис. 1. Данные о пожарах, зарегистрированных на стационарных объектах и подвижном составе ОАО «РЖД» за 2010–2019 гг.



Рис. 2. Распределение пожаров, произошедших на железнодорожном транспорте в 2010–2019 гг.

структурой железнодорожного транспорта, составило 5 случаев (2018–7).

### **Пожары на подвижном составе ОАО «РЖД», дочерних зависимых обществ ОАО «РЖД» и сторонних организаций**

По видам подвижного состава пожары в 2019 г. распределились следующим образом: 31 пожар произошел при эксплуатации тягового подвижного состава (2018–37); 4 пожара произошло в вагонах электро-

поездов (2018–3); 15 пожаров произошло в специальных машинах и специальных вагонах (2018–6); 1 пожар произошел в грузовых вагонах (2018–2).

В грузовом подвижном составе сторонних организаций произошло 2 пожара (2018–6). Всего на подвижном составе ДЗО ОАО «РЖД» произошел 1 пожар (2018–2), из них: ОАО «ФПК» – 1 случай (2018–2).

Из 31 пожара на тяговом подвижном составе 13 пожаров произошло на электровозах (2018–16) и 18

пожаров на тепловозах (2018 – 21). Прямой материальный ущерб от пожаров на электровозах составил 14,5 млн руб. (2018 – 17,6 млн руб.), на тепловозах – 12,1 млн руб. (2018 – 12,6 млн руб.).

Основные причины пожаров на тепловозах (2019 – 18 пожаров, 2018 – 21 пожар, 2017 – 32 пожара): короткое замыкание силовой и вспомогательной цепей – 13 пожаров; неисправность турбокомпрессора – 2 пожара; прочие причины – 3 пожара (неисправность двигателя калорифера; разрушение подшипника вала-шестерни синхронного возбуждателя; неисправность гидромфты).

Основные причины пожаров на электровозах (2019 – 13 пожаров, 2018 – 16 пожаров, 2017 – 24 пожара): неисправность тягового электродвигателя – 2 пожара; неисправность высоковольтных цепей – 6 пожаров; неисправность тягового трансформатора – 1 пожар; неисправность низковольтных цепей – 1 пожар; прочие причины – 3 пожара (короткое замыкание под пультом управления; неисправность контактора компрессора; поджог – 1 пожар).

Четыре пожара в электропоездах (2018 – 3) произошли по следующим причинам: неосторожное обращение с огнем неустановленными лицами – 2 пожара; короткое замыкание в электросети – 1 пожар; поджог – 1 пожар.

В грузовом подвижном составе ОАО «РЖД» произошел 1 пожар (2018 – 2) по причине занесения открытого источника зажигания.

На специальном железнодорожном подвижном составе (спецагоны и спецмашины) произошло 12 пожаров (2018 – 6).

Причины пожаров на специальных машинах распределились следующим образом: пробой изолятора – 1.

Причины пожаров в специальных и служебно-технических вагонах: недосмотр за приборами (отопления, электрооборудования и т.д.) – 4; неосторожное обращение с огнем – 3; неисправность электрооборудования – 2; искры из выхлопного тракта тепловоза – 1; прочие – 1.

### Пожары на стационарных объектах ОАО «РЖД»

Из 45 пожаров, зарегистрированных на стационарных объектах ОАО «РЖД», 15 произошло в прочих зданиях (неэксплуатирующиеся, строящиеся здания, помещения, трансформаторы тяговых подстанций), 9 – в производственных, 7 – в складских, 6 – в служебных, 5 – в служебно-технических, 2 – в общественных, 1 – в жилых.

Пожар с наибольшим материальным ущербом на стационарных объектах произошел 18.03.2019 г. на территории Путьевой машинной станции № 18 станции Сибирцево Дальневосточной железной дороги произошло возгорание полимерной георешетки с прикатным геотекстилем. Причина пожара – пал сухой травы. Материальный ущерб составил 36 млн 515 тыс. 804 руб. [3].

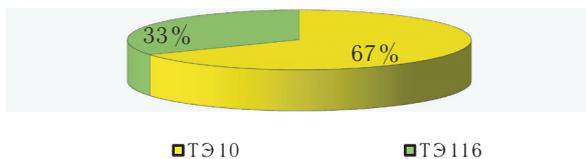


Рис. 3. Распределение пожаров по сериям тепловозов

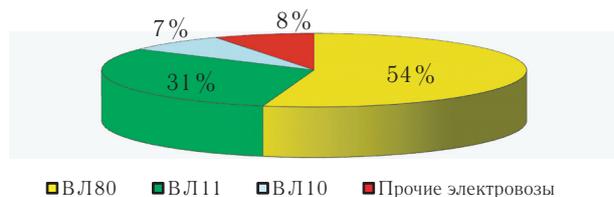


Рис. 4. Распределение пожаров по сериям электровозов

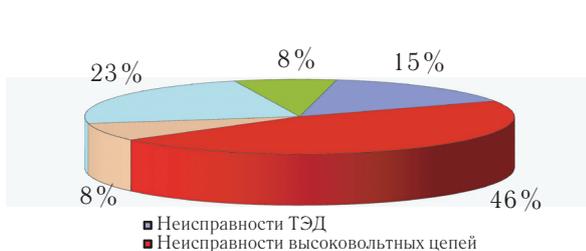


Рис. 5. Технические неисправности электровозов, приведшие к пожарам

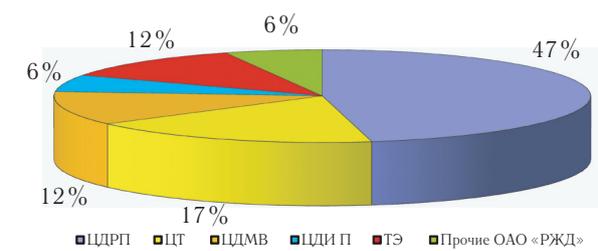


Рис. 6. Распределение пожаров на железнодорожном подвижном составе по ответственности

В 2019 г. на постах ЭЦ зарегистрировано 5 пожаров (2018–3).

В период с 2003 по 2019 гг. на постах ЭЦ ежегодное число пожаров было от 1 (в 2013 и 2017) до 7 (в 2007), в среднем по 5 пожаров.

Помимо технических причин пожаров, значительная часть их допущена в результате ошибок и несанкционированных действий персонала («человеческий фактор»). Материальный ущерб от одного пожара составлял в среднем десятки тысяч рублей.

Причины возникновения пожаров на стационарных объектах:

- прочие причины – 16 пожаров (35,56%); неисправность электрооборудования – 14 пожаров (31,11%); неосторожное обращение с огнем – 10 пожаров (22,22%); недосмотр за приборами отопления – 2 пожара (4,44%); неисправность приборов отопления – 2 пожара (4,44%);

- нарушение ППБ при проведении огневых работ – 1 пожар (2,23%) [3].

### **Обстановка с пожарами и обеспечением пожарной безопасности некоторых филиалов ОАО «РЖД»**

*Дирекция железнодорожных вокзалов (ДЖВ)*

В 2019 г. по ответственности за дирекцией пожаров не зарегистрировано (в 2018 по ответственности пожаров также не было).

В 2019 г. при проведении проверок противопожарного состояния объектов ДЖВ выявлено 4 651 нарушение требований пожарной безопасности, 3 149 нарушений устранено. По результатам проведенных проверок приостанавливалась работа 194 объектов железнодорожных вокзальных комплексов, электрооборудования, участков электропроводки.

*Дирекция тяги (ЦТ)*

В 2019 г. на стационарных объектах и подвижном составе дирекции зарегистрировано 36 пожаров (в

2018–40). Прямой материальный ущерб составил 21,5 млн руб. (2018–30,2 млн руб.). Из них: на подвижном составе дирекции зарегистрировано 32 пожара (2018–37), из них: 31 – на тяговом подвижном составе и 1 – в тягово-энергетической лаборатории (СПС). На стационарных объектах произошло 4 пожара.

В 2019 г., также как и в 2018 г. погибших на пожарах не было [3].

По ответственности за Дирекцией тяги в 2019 г. зарегистрировано 5 случаев пожаров без ущерба (2018 г. – 3).

Суммарные показатели профилактики пожаров на локомотивах при весенних и осенних комиссионных осмотрах за период 2012–2019 гг. приведены в таблице.

В 2019 г. зарегистрирован рост количества пожаров в локомотивах в период осуществления осеннего комиссионного осмотра.

При проведении комиссионных осмотров тягового подвижного состава (рис. 7), в соответствии со стандартом ОАО «РЖД» «Тяговый подвижной состав. Правила оценки и управления пожарными рисками» (СТО РЖД 15.016-2017), проводится расчет пожарного риска локомотивов с последующим проведением мероприятий по доведению пожарного риска до допустимых величин. Локомотивы с уровнем риска «Нежелательный» и «Недопустимый» к эксплуатации не допускаются.

Всего прошла осмотр 26861 секция тягового подвижного состава. По результатам осмотра выдано 5361 предписание об устранении нарушений требований пожарной безопасности, по которым к выполнению предложено 22023 противопожарных мероприятий, из которых выполнено 21229 (96,4%). Отстранено от эксплуатации (выдано предписаний на приостановку эксплуатации) 1436 секций (2018–1776) тягового подвижного состава, находящегося в

*Таблица*

Наименование профилактического показателя	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Проведено проверок локомотивов	47811	49920	51123	52997	49670	52331	51966	52179
Выдано предписаний на устранение нарушений	8084	8788	8214	12853	13265	14875	13107	11439
Выявлено нарушений	54668	60130	67248	59965	60257	61447	58644	51690
Устранено нарушений	49279	55607	59375	54910	57195	58693	55601	49303
Выдано предписаний на приостановление эксплуатации	1661	1938	2038	2584	2951	3252	3419	3029



Рис. 7. Динамика роста количества проверок локомотивов при комиссионных осмотрах в период 2012–2019 гг.

пожароугрожаемом состоянии. Общее количество отстраненных от эксплуатации секций тепловозов составило 936 единиц.

Проведенный осенний комиссионный осмотр выявил, что наиболее часто встречающиеся нарушения на тяговом подвижном составе — это неисправность систем обнаружения и тушения пожаров; неисправность имеющихся первичных средств пожаротушения; некомплект первичных средств пожаротушения (огнетушителей); применение не калиброванных плавких вставок; подтекание масла и топлива; отсутствие металлических емкостей с крышками для хранения ветоши; отсутствие защитных плафонов на электросветильниках; эксплуатация электропроводки с нарушениями.

Из прошедших осмотр 26861 секций тягового подвижного состава оценку за противопожарное состояние «удовлетворительно» получили 26861 (100%). По электровозам оценок «удовлетворительно» 15989 (100%), по тепловозам 10872 (100%). По сравнению с осенним комиссионным осмотром 2018 г. положение с обеспечением пожарной безопасности тягового подвижного состава значительно улучшилось. Имеющиеся на тяговом подвижном составе автоматизированные системы пожарной защиты в основном показали свою надежность и эффективность.

*Центральная дирекция по ремонту пути (ЦДРП)*

В 2019 г. на стационарных объектах и подвижном составе дирекции допущено 5 пожаров (2018—2). Прямой материальный ущерб от пожаров составил 36,56 млн руб. (2018—0). Из общего количества пожаров 3 произошло на стационарных объектах и 2 — на подвижном составе (2018—2 на стационарных объектах). В 2019 г. погибших на пожарах не было (в 2018 г. погибших также не было) [3].

В 2019 г. увеличилась группировка пожарных поездов (далее — ПП). В боевой расчет были введены ПП на станциях Валдай Октябрьской железной дороги и Тамань-Пассажи́рская Северо-Кавказской железной дороги. В настоящее время на сети железных дорог ОАО «РЖД» развернуты и находятся в режиме постоянной боевой готовности 309 ПП. Число выездов на тушение пожаров в 2019 г. составляло от 16 (на Калининградской железной дороге) до 135 (на Московской и Дальневосточной железных дорогах). Работниками ПП спасено 6 человек и материальных ценностей на сумму более 950 млн руб. Всего за период 2012–2019 гг. боевыми расчетами ПП на пожарах спасено 199 человек и материальных ценностей на сумму более 10 млрд руб. (рис. 8).

При проведении аварийно-спасательных работ, связанных с тушением пожаров, спасено от уничтожения огнем 16 строений, 3 единицы тягового подвижного состава и 25 вагонов.

В течение 2019 года ПП 104 раза (или 9,9% от общего количества выездов ПП) (рис. 9) выезжали для проведения АСР на стационарных объектах и подвижном составе ОАО «РЖД», 116 раз (11,1%) для участия в ликвидации ЧС на стационарных объектах и подвижном составе железнодорожного транспорта, 81 раз (7,7%) для проведения АСР и участия в ликвидации ЧС в полосе отвода железных дорог, 262 раз (25,0%) по запросу территориальных пожарно-спасательных подразделений МЧС России для оказания помощи в тушении пожаров в населенных пунктах и на объектах, не входящих в инфраструктуру ОАО «РЖД», а также 483 раза (46,2%) на учения по комплексному использованию сил и средств системы обеспечения пожарной безопасности в ОАО «РЖД».

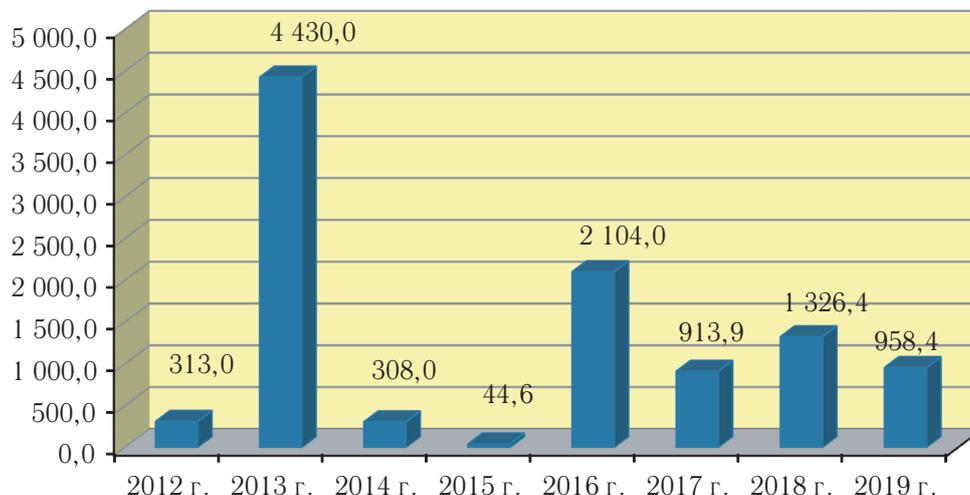


Рис. 8. Количество спасенных материальных ценностей (млн руб.)

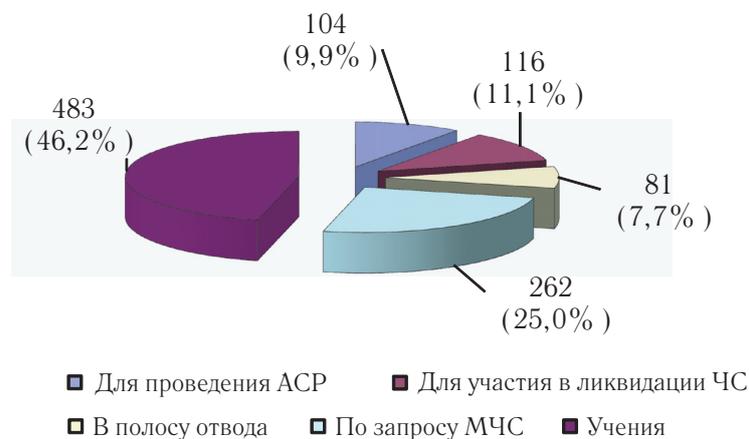


Рис. 9. Распределение выездов пожарных поездов

### Выводы

1. Созданная система обеспечения пожарной безопасности, являющаяся элементом общей функциональной подсистемы РСЧС соответствует предъявляемым требованиям.

2. Органы управления, силы и средства, привлекаемые к обеспечению пожарной безопасности на объектах ОАО «РЖД», готовы к выполнению поставленных задач.

Структура системы обеспечения пожарной безопасности приведена на рис. 10.

Матрица оценки состояния пожарной безопасности филиала, структурного подразделения, организации, предприятия ОАО «РЖД» приведена на рис. 11.



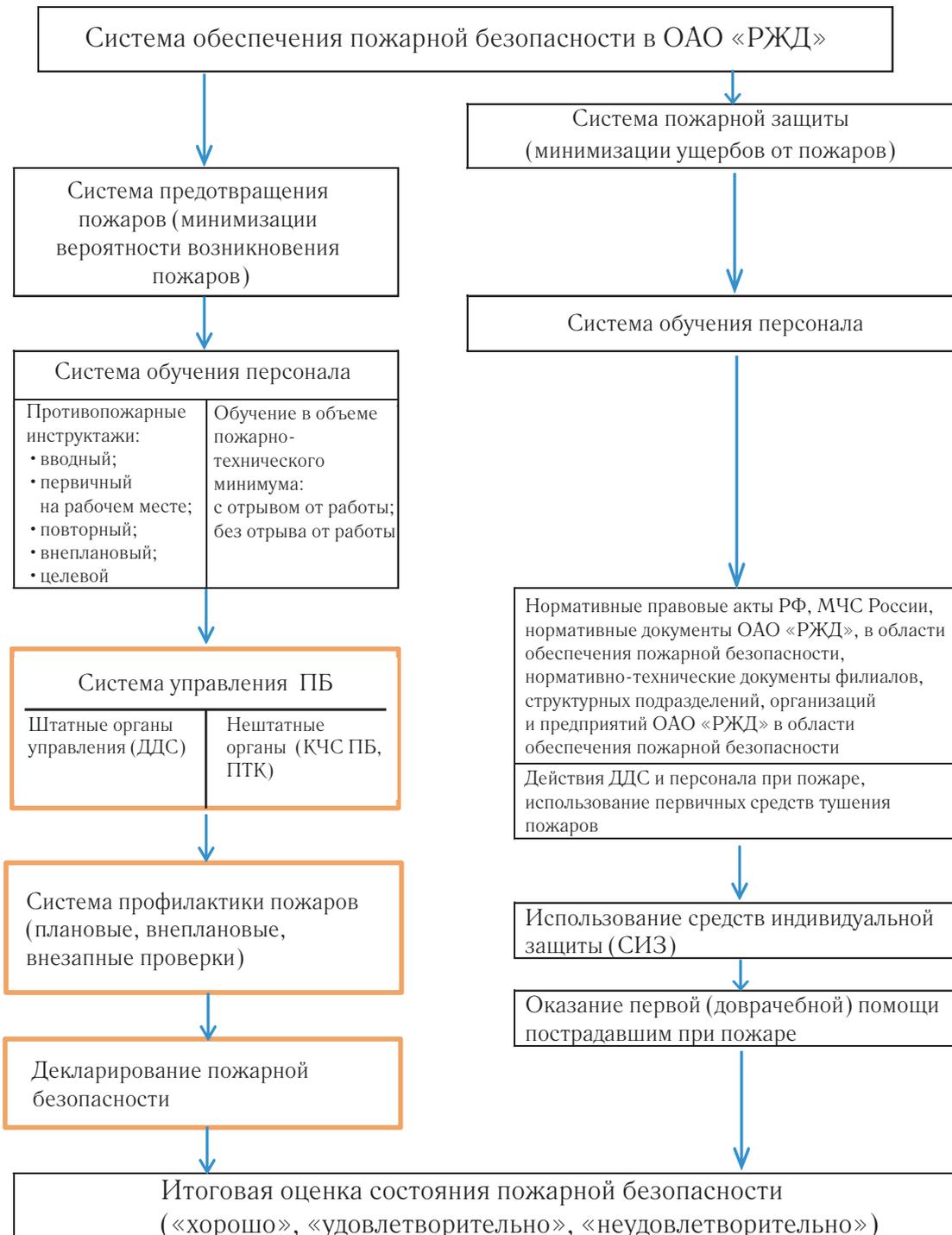


Рис. 10. Структура системы обеспечения пожарной безопасности

А.И. Шевченко, В.В. Денисов

**«АНАЛИЗ И ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОБЪЕКТАХ  
ОАО «РОССИЙСКИЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ» ПО ИТОГАМ 2019 ГОДА»**

№ п/п	Предмет оценки Критерии	Состояние обеспечения пожарной безопасности		
		«хорошо»	«удовлетворительно»	«неудовлетворительно»
1	Наличие и знание персоналом нормативных правовых актов РФ, МЧС РФ, ОАО «РЖД» в области обеспечения пожарной безопасности	«хорошо»	«удовлетворительно»	«неудовлетворительно»
2	Наличие и знание персоналом Правил, Инструкций, Норм и т.п. ОАО «РЖД» в области обеспечения пожарной безопасности	«хорошо»	«удовлетворительно»	«неудовлетворительно»
3	Умение использовать первичные средства пожаротушения	«хорошо»	«удовлетворительно»	«неудовлетворительно»
4	Умение использовать индивидуальные средства защиты (ИСЗ)	«хорошо»	«удовлетворительно»	«неудовлетворительно»
5	Наличие и качество Планов мероприятий по обеспечению пожарной безопасности	«хорошо»	«удовлетворительно»	«неудовлетворительно»
6	Создание и уровень подготовки штатных и нештатных органов управления пожарной безопасностью	«хорошо»	«удовлетворительно»	«неудовлетворительно»
7	Наличие, подготовка и готовность штатных и нештатных аварийно-спасательных и аварийно-восстановительных формирований	«хорошо»	«удовлетворительно»	«неудовлетворительно»
8	Наличие, организация хранения и состояние запасов материальных средств (в т.ч. запасов 2-й группы) для тушения крупных пожаров	«хорошо»	«удовлетворительно»	«неудовлетворительно»
9	Итоговая оценка	«хорошо»	«удовлетворительно»	«неудовлетворительно»

Примечание: По каждому критерию (п. 1–8 матрицы) нормативными документами ОАО «РЖД», филиалов, структурных подразделений, дочерних зависимых обществ должны быть определены количественные и качественные показатели, для соответствия оценкам «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

*Рис. 11. Матрица оценки состояния пожарной безопасности филиала, структурного подразделения, организации, предприятия ОАО «РЖД»*

## Литература

1. Федеральный закон от 21.12.1994 №69-ФЗ «О пожарной безопасности» (с изменениями на 22 декабря 2020 года).
2. Постановление Правительства РФ от 21.05.2007 №304 «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» (с изменениями на 20 декабря 2019 года).
3. Анализ состояния пожарной безопасности на объектах и подвижном составе ОАО «РЖД» в 2019 году на основе ИАС МОПБ. – Москва, 2010–2019 гг.
4. Государственные доклады «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» // ФГУ ВНИИГОЧС (ФЦ), Москва. – 1997–2019 гг.
5. Управление рисками чрезвычайных ситуаций. Доклады и выступления шестой Всероссийской научно-практической конференции «Центр стратегических исследований гражданской защиты МЧС России». МЧС России, Минпромнауки России, Российская академия наук. – Москва: КРУК, 2001.
6. Стратегические риски чрезвычайных ситуаций: оценка и прогноз. Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции по проблемам защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций Центр стратегических исследований гражданской защиты МЧС России // Сборник трудов конференции, Москва. – МЧС России, Российская академия наук, Совет Безопасности РФ. – Тверь: ООО «Триада», 2003.
7. Распоряжение ОАО «РЖД» от 08.06.2018 г. №1215/р «Об утверждении Инструкции по проверке и оценке функциональных, территориальных и объектовых комиссий по предупреждению и ликвидации ЧС на объектах инфраструктуры ОАО «РЖД».
8. Распоряжение ОАО «РЖД» от 08.06.2018 г. №1217/р «Об утверждении Положения о порядке функционирования органов управления, сил и средств в РСЧС».

## УСЛОВИЯ ТРУДА РАБОТНИКОВ СЛУЖБЫ ИСПОЛНЕНИЯ НАКАЗАНИЙ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ УЛУЧШЕНИЯ

В статье проанализированы условия труда работников службы исполнения наказаний, дана общая характеристика условий труда и структурированы составляющие трудового процесса. Для улучшения условий труда работников службы исполнения наказаний предложено снизить физические и эмоционально-психические нагрузки, а также ограничить действие вредных факторов путем разработки и внедрения нового специального пассажирского вагона.



**Е.А. Трифонова**



**Б.Н. Рахманов**

*Ключевые слова:* работники, служба исполнения наказаний, вредные факторы, условия труда, трудовой процесс

Состояние здоровья работников различных сфер деятельности является основой и неотъемлемой частью социально-экономического процветания и благополучия любой страны [1] и целиком зависит от условий труда. В соответствии с нормативными актами [2–4], состояние здоровья работников различных сфер деятельности является главным приоритетом, который заложен в национальную политику Российской Федерации, где отдельное внимание уделено условиям труда. Состояние здоровья работников различных сфер деятельности, которое описано в Международном стандарте [5], является приоритетным направлением в сравнении с категорией безопасности труда. Также в отдельных работах, например [6], внимание уделяется вопросам взаимосвязи рабочей среды работника и работодателя.

Сегодня в Российской Федерации условия труда работников различных сфер деятельности могут быть охарактеризованы рядом факторов, которые имеют место как в рабочей деятельности так и в самом трудовом процессе работников, приводящие к определенному влиянию на их общее состояние здоровья и последующую их работоспособность при выполнении своих должностных обязанностей. В итоге действие комплекса факторов рабочей среды и процесса трудовой деятельности может проявляться в виде вредного или опасного производственного фактора в том случае, если результатом его воздействия станет профессиональная патология (или заболевание) определенно-занятого работника или временный (или стойкий) характер снижения его работоспособности и др. [7].

**Трифонова Екатерина Александровна**, старший преподаватель кафедры «Управление безопасностью в техносфере» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: охрана труда, техносферная безопасность. Автор трех научных работ.

**Рахманов Борис Николаевич**, доктор технических наук, профессор кафедры «Управление безопасностью в техносфере» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: охрана труда, техносферная безопасность. Автор 98 научных работ.

**Филиппов Виктор Николаевич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: экологическая безопасность, оценка рисков, парниковые газы, эксергетический анализ, обеспечение безопасности подвижного состава железных дорог, системы экологического менеджмента. Автор более 200 научных работ. Имеет 50 патентов РФ.

Существовавшие ранее методы влияния на состояние здоровья работников различных сфер деятельности психосоциальных факторов и их переоценка позволили связать физическое и психическое состояние здоровья с уровнем стресса. В этом случае необходимо учитывать уровень позитивного состояния здоровья работников различных сфер деятельности и отсутствие или наличие психических расстройств [8;9]. В документах [10;11] очевидна взаимосвязь характера изучения состояния здоровья работников различных сфер деятельности непосредственно на их рабочем месте и условий труда. Такая тенденция направлена на усовершенствование уровня физического состояния и эмоционально-психологического благополучия работников.

Целью настоящей научной работы является анализ условий труда работников службы исполнения наказаний, необходимый для их (условий труда) совершенствования.

Существующие должностные инструкции работников службы исполнения наказаний (конвоиров) показывают, что большую часть рабочего времени они находятся в пассажирских вагонах, которые предназначены для перевозки осужденных и лиц, находящихся под стражей. В связи с этим рассмотрим условия труда работников службы исполнения наказаний.

В работе [12] приведен анализ особенностей условий труда работников службы исполнения наказаний (конвоиров) с точки зрения теоретического подхода, предложенный российским психофизиологом Е.А. Климовым. Результатом исследования трудов является классификация структурных составляющих трудового процесса и отдельно условий труда. В статье выполнена доработка данной блок-схемы, результат которой приведен на рисунке и которая может быть применена к работникам службы исполнения наказаний (конвоирам).

Рассматривая приведенные структурные составляющие трудового процесса, можно охарактеризовать некоторые особенности при выполнении профессиональных обязанностей работниками службы исполнения наказаний (конвоиров).

Как видно на рисунка, в соответствии с приведенными структурными составляющими трудового процесса, объект труда работников службы исполнения наказаний (конвоиров) представляет собой людей: осужденных и лиц, находящихся под стражей, которые перевозятся в специальных вагонах.

Охрана и конвоирование осужденных и лиц, находящихся под стражей и, возникающие при этом различные ситуационные процессы, являются предметом труда, регламент которых содержится в законо-



Рисунок. Структурные составляющие трудового процесса и отдельно условий труда работников службы исполнения наказаний

дательно-нормативных документах и должностных инструкциях.

Целями труда являются поставленные продолжительные задания, выполняющиеся в процессе охраны и конвоирования; кратковременные, заключающиеся в доставке или временной охране осужденных и лиц, находящихся под стражей; объективные, которые несут характер сложившейся ситуации.

При анализе структурных составляющих трудового процесса наибольшее внимание необходимо уделить условиям труда конвоиров, в которые входят следующее: социально-контактный, информационный и витальный блоки.

Условия труда работников службы исполнения наказаний в социально-контактном блоке состоят из:

- социометрического статуса работника службы исполнения наказаний;
- социально-психологического статуса, показывающий внутренний климат в коллективе работников службы исполнения наказаний;
- взаимодействия работников службы исполнения наказаний с другими службами;
- культурной части работников службы исполнения наказаний;
- уровень защищенности работников службы исполнения наказаний при возможных посягательствах.

Информационный блок включает организационные документы, с помощью которых осуществляется регламент их профессиональной деятельности.

Витальный блок, характеризуют состояние тела определенного субъекта труда, а именно протекание соматических процессов и специфичность (предметность) имеющихся условий труда. В свою очередь, соматические процессы подразумевают под собой экстерорецептивные, интерорецептивные и проприорецептивные ощущения, и общее самочувствие работников службы исполнения наказаний.

Таким образом, анализ структурных составляющих трудового процесса работников службы исполнения наказаний (конвоиров), позволил выявить основные блоки, влияющие на условия труда. К ним относятся: социально-контактный блок, информационный и витальный блоки.

Условия труда работников службы исполнения наказаний (конвоиров) тесно связаны с физическими и эмоционально-психическими нагрузками при выполнении своих служебных обязанностей. Кроме того, при перевозке в специальных вагонах осужденных и лиц, находящихся под стражей работники подвергаются шумовому и вибрационному воздействию. Следует также отметить, что время несения службы (часы суток и сезон года) также оказывает влияние на условия труда. В этом случае необходимо отметить роль микроклиматических и сопутствующих физических факторов.

Для возможного улучшения условий труда работников службы исполнения наказаний необходимо снижать их физические и эмоционально-психические нагрузки при выполнении своих служебных обязанностей, а также уменьшать уровень шума и действие вибрации. Последнее может быть реализовано с помощью разработки нового специального пассажирского вагона для перевозки спецконтингента, в котором будет обеспечено снижение действия приведенных факторов.

### **Выводы**

В результате исследования условий труда установлено следующее: большую часть времени работники службы исполнения наказаний (конвоиры) находятся в специальных пассажирских вагонах, которые предназначены для перевозки осужденных и лиц, находящихся под стражей. Дана общая характеристика условий труда и структурированы составляющие трудового процесса и отдельно условий труда работников службы исполнения наказаний (конвоиров), которые включают социально-контактный, информационный и витальный блоки.

Установлено, что для улучшения условий труда работников службы исполнения наказаний необходимо снижать их физические и эмоционально-психические нагрузки при выполнении своих служебных обязанностей. Кроме того, действие вредных факторов, а именно шума, вибрации на работников службы исполнения наказаний может быть снижено с помощью разработки нового специального пассажирского вагона для перевозки спецконтингента, что приведет к улучшению условий труда работников службы исполнения наказаний.



## Литература

1. Измеров, Н.Ф. Национальная система медицины труда как основа сохранения здоровья работающего населения России / Н.Ф. Измеров // *Здравоохранение Российской Федерации*. –2008. –№1. –С. 7–8.
2. Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года: утв. распоряжением Правительства Рос. Федерации от 17 нояб. 2008 г. №1662-р: ред. от 28.09.2018 г.
3. Концепция повышения эффективности обеспечения соблюдения трудового законодательства и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права (2015–2020 годы): утв. распоряжением Правительства Рос. Федерации от 5 июня 2015 г. №1028-р.
4. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 №197-ФЗ (ред. от 29.12.2020).
5. Стандарт ISO 45001 по системам менеджмента охраны здоровья и безопасности труда // *Технорматив: документация для профессионалов*. –М., 2002–2018.
6. Hofmann D.A. 100 Years of Occupational Safety Research: From Basic Protections and Work Analysis to a Multilevel View of Workplace Safety and Risk / D.A. Hofmann, M.J. Burke, D. Zohar // *J. Appl. Psychol.* –2017. –Vol. 102, Iss. 3. –P. 375–388.
7. Анализ условий труда и производственных факторов в аспекте влияния на здоровье работающих / И.В. Духанина, А.И. Хан, О.В.Золотарева, И.В. Архипов // *Фундаментальные исследования*. –2015. –№9-1. –С. 133–136.
8. Leka S. Psychosocial risk management: calamity or opportunity? / S. Leka // *Occup. Med.* –2016. –Vol. 66, Iss. 2. –P. 89–91.
9. Valente, M & Menezes, Paulo & Maria, Pastor-Valero & Lopes, Claudia. (2015). Depressive symptoms and psychosocial aspects of work in bank employees. *Occupational medicine (Oxford, England)*. 66. 10.1093/ocmed/kqv124.
10. Healthy workplaces: improving employee mental and physical health and wellbeing (QS147) / The National Institute for Health and Care Excellence. London: NICE, 2017. nice.org.uk/guidance/qs147
11. ГОСТ Р 55914-2013. Менеджмент риска. Руководство по менеджменту психосоциального риска на рабочем месте.
12. Петров, Н.Н. Особенности процесса труда сотрудников охранно-конвойной службы МВД РФ / Н.Н. Петров // *Azimuth of Scientific Research: Pedagogy and Psychology*. –2017. –Т.6, №3(20). –С. 322–325.