

ВЕСТНИК
Белорусского
Государственного
Университета
Транспорта

Научно-практический журнал

НАУКА
и ТРАНСПОРТ

№ 1 (50)/2025

ВЕСТНИК БелГУТа: НАУКА И ТРАНСПОРТ

Научно-практический журнал № 1 (50) 2025 года

Издается с апреля 2000 года

Выходит один раз в полугодие

Учре д и т е л и:

Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта»
Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь

Главный редактор *Н. Н. КАЗАКОВ*

Заместители главного редактора: *А. А. ЕРОФЕЕВ, А. О. ШИМАНОВСКИЙ*

Редакционная коллегия:

*В. Е. ВЕРЕНИЧ, А. В. ПУТЯТО, Ю. М. ПЛЕСКАЧЕВСКИЙ, Н. К. ТУРСУНОВ,
В. Я. НЕГРЕЙ, К. А. БОЧКОВ, Ю. О. ПАЗОЙСКИЙ, Э. И. СТАРОВОЙТОВ, О. Н. ЧИСЛОВ*

Ответственный секретарь *Т. А. ВЛАСЮК*

Адрес редакции: ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель, Республика Беларусь
Телефон (факс) (0232) 31-59-48

Свидетельство о государственной регистрации средства массовой информации № 1247 от 08.02.2010,
выданное Министерством информации Республики Беларусь

На белорусском и русском языках

Редактор *Е. Г. Привалова*
Технический редактор *В. Н. Кучерова*
Компьютерная верстка – *С. В. Ужанкова*

Подписано в печать 30.06.2025 г. Формат 60×84¹/₈. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 10,23. Уч.-изд. л. 10,01. Тираж 100 экз. Изд. № 34. Зак. № 1643.

Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта»
ЛП № 02330/238 от 14.04.2014 г.
Ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель

© Оформление. БелГУТ, 2025

ВЕСТНИК БелГУТа: НАУКА И ТРАНСПОРТ

Научно-практический журнал

2025. № 1 (50)

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ

- Комнанный Д. В. Исследование воздействия экстремальной геомагнитной активности на фазочувствительные рельсовые цепи в условиях Белорусской железной дороги..... 4
- Галушко В. Н., Евдасёв И. С., Громыко И. Л., Крук С. М. Частотный анализ трехфазных трансформаторов 8

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

- Буртыль Ю. В., Вавилов П. В. Обеспечение безопасности дорожного движения как объект национальной научно-технической деятельности в XXI веке 12

ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС

- Ковтун П. В., Дробов С. Г., Шамова М. А. Опыт применения горизонтально направленного бурения 18

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ

- Пигунов А. В., Пигунов В. В., Калашников М. А. Особенности крепления сменных кузовов полувагонов на платформах для перевозки контейнеров..... 23
- Бурченков В. В., Коленчиков А. В., Крот П. А. Совершенствование технологии предиктивной диагностики энергетической цепи тепловозов..... 27
- Френкель С. Я., Дединкин А. П., Козлов В. Г., Килочницкая М. А., Демьянчук О. В. Расчет норм расхода топлива на тягу поездов..... 31
- Отока А. Г. Повышение эффективности рабочих мест неразрушающего контроля в колесно-роликовых участках за счет рационального размещения оборудования 34

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

- Ерофеев А. А., Науменко А. А. Идентификация отклонений в интеллектуальной системе управления сортировочной станции 41
- Негрей В. Я., Шкурин К. М. Исследование системы организации вагонопотоков в условиях неопределенности параметров перевозочного процесса 46
- Васильев А. А., Ткачева М. И., Агеева К. Э., Логвин В. В. Исследование кинетики распределения влаги при ее испарении по сечению бетона класса по прочности на сжатие $C^{20}/_{25}$ 50
- Власюк Т. А. Особенности развития инфраструктуры железнодорожного транспорта в агломерации 53
- Галушко В. Н., Белькин В. О. Особенности применения техноинтеллекта на транспорте и в энергетической промышленности 59
- Михальченко А. А. Методический подход к прогнозированию эксплуатационных показателей железной дороги в со-временных условиях хозяйствования 65
- Сергеева Т. Г., Кизляк О. П. Методика оценки эффективности аутсорсинга логистических услуг 72
- Моисеенко В. Л., Славников Е. В., Матушко Н. С. Проблемные вопросы развития отечественного машиностроения..... 76
- Шкурин К. М. Использование синергетического критерия оптимальности при разработке плана формирования одно-группных поездов 79
- Тимашков С. Н. Совершенствование методики расчета пропускной и перерабатывающей способности грузовых пунктов для воинских грузов..... 82

ПОДГОТОВКА КАДРОВ

- Гришанкова Н. А. Исследование некоторых путей интенсификации обучения ознакомительному чтению на иностран-ном языке..... 85

АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ

УДК 656.259.12

Д. В. КОМНАТНЫЙ, кандидат технических наук, Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ НА ФАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ РЕЛЬСОВЫЕ ЦЕПИ В УСЛОВИЯХ БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Описан физический механизм воздействия геомагнитной активности на фазочувствительные рельсовые цепи. Обоснованы методы моделирования воздействия геомагнитного поля на рельсовые цепи. Выбрана геофизическая модель помехового магнитного поля магнитной бури. Предложен метод расчета наведенного магнитной бурей тока на релейном конце рельсовой цепи, основанный на теореме об эквивалентном генераторе. Проанализированы ограничения прогностических возможностей предложенного метода. Показано, что метод позволяет установить принципиальную возможность сбоя рельсовой цепи при возмущениях геомагнитного поля.

На железных дорогах Российской Федерации, расположенных в приполярных областях, наблюдается повышенное число отказов и сбоев в работе систем железнодорожной автоматики на станциях и перегонах. В частности, возникает ложная занятость рельсовых цепей, особенно фазочувствительных [1–3]. Эти отказы и сбои хорошо коррелируются с возмущениями геомагнитного поля (магнитными бурями). Такие же отказы возникали на высокоширотных железных дорогах Канады [4].

В Республике Беларусь аналогичные отказы фазочувствительных рельсовых цепей на станциях наблюдались в дни с экстремальной геомагнитной активностью (по информации проф. К. А. Бочкова). Следовательно, изучение воздействия магнитных бурь на станционные рельсовые цепи востребовано и в условиях Республики Беларусь с целью обеспечения бесперебойного перевозочного процесса и безотказного функционирования станционной автоматики.

Рассматриваемый аспект работы рельсовых цепей относится к кругу проблем электромагнитной совместимости аппаратуры железнодорожной автоматики и телемеханики. Поэтому для исследования воздействия магнитных бурь на фазочувствительные рельсовые цепи выбрана методология последовательного рассмотрения источника помех, канала распространения помех и рецептора помех.

Источником помех в данном случае является ионосфера Земли, возбуждаемая воздействием идущих от Солнца плазменных потоков. Под их действием общее магнитное поле Земли претерпевает значительные изменения. Возникает аperiодический импульс поля длительностью несколько суток (рисунок 1). На фоне этого изменения наблюдаются интенсивные короткие пульсации магнитного поля в виде последовательности импульсов, которые в первом приближении имеют треугольную форму (рисунок 2).

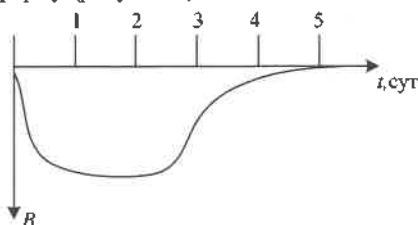


Рисунок 1 – Примерный ход магнитного поля магнитной бури

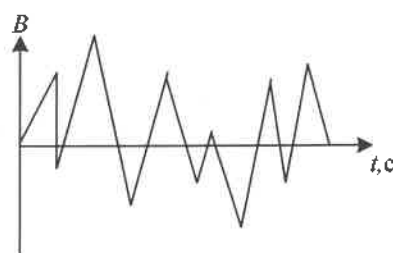


Рисунок 2 – Короткие пульсации магнитного поля

Именно эти пульсации создают в толще земли переменные теллурические токи, которые, в свою очередь, наводят электромагнитные помехи в рельсовых цепях по закону электромагнитной индукции [3, 5, 6]. По данным публикации [1], сила тока в условиях интенсивных магнитных бурь доходит до 40 А, тогда как автоматический выключатель рельсовой цепи срабатывает при 5 А [7]. Таким образом, возникающие помехи достаточны для создания сбоев в работе фазочувствительной рельсовой цепи.

Установлено [8], что интенсивность геомагнитной активности определяется ходом процессов, происходящих на Солнце. Выделяется 11-летний солнечный цикл, в котором имеется минимум, максимум активности и год спокойного Солнца. Географическое положение Республики Беларусь таково, что экстремальная геомагнитная активность проявляется только в годы солнечного максимума. При этом максимальная интенсивность явлений в эти годы заметно отличается. На плотность теллурических токов оказывают существенное влияние электрические свойства слоев почвы. Таким образом, отличительными особенностями магнитной бури являются: кратковременное протекание, регулярная, но относительно редкая, повторяемость (11 лет и более), возникновение на огромных территориях, локальность и детерминированность места влияния на рецепторы помех – приемоотправочные парки железнодорожных станций, наличие случайных вариаций проявления.

Следовательно, магнитная буря относится к кратковременным, регулярно действующим, но редким явлениям типа экстремум. Такие явления в настоящее время достаточно трудно прогнозируются (хотя успеш-

ные в определенной мере попытки прогноза опубликованы [9] и отличаются малой степенью приспособляемости к ним [10, 11].

Стратегия уменьшения ущерба от таких явлений заключается в рациональной комбинации превентивных мер и мер по ликвидации последствий. Также для управления безопасностью перевозочного процесса необходимы оценки и прогнозы возникновения опасной ситуации. Для рассматриваемого явления целесообразны заблаговременные методы прогнозирования последствий в интересах планирования оперативных мероприятий по смягчению последствий [10, 11].

Известны [10, 11] феноменологические, детерминистские и вероятностные методы оценки. С учетом свойств магнитной бури, указанных выше, целесообразным является сочетание трех представленных подходов. При вероятностном подходе выбираются наиболее вероятные значения экстремумов параметров магнитного поля сопутствующих буре явлений по принципу наихудших условий. В этом состоит отличие проблемы уменьшения ущерба от воздействия геомагнитных явлений от проблемы ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, для которой этот подход разработан впервые. Дальнейший анализ осуществляется детерминистским методом, что подразумевает разработку математической модели воздействия геомагнитных возмущений на рельсовую цепь.

При разработке модели допустимо пренебречь сферичностью Земли [12]. Возмущения геомагнитного поля вызываются электрическими токами, протекающими в ионосфере. В источнике [12] описана модель области ионосферы, занятой токами, в виде плоского токового слоя с известным распределением плотности электрического тока. Однако плотность тока в ионосфере известна крайне приближенно. Поэтому целесообразно использовать модель источника помех в виде излучателя электромагнитной волны с преобладанием магнитной составляющей. Вектор напряженности магнитного поля волны имеет единственную составляющую H_y [12]. Характеристики и форма волны известны из наблюдений геомагнитного поля на геомагнитных обсерваториях. На основании [5, 6] падающая волна возмущенного геомагнитного поля аппроксимируется треугольными колебаниями, которые могут быть разложены в ряд Фурье. Предполагается, что в пределах приемо-отправочного парка железнодорожной станции поле волны меняется только во времени [12, 13]. Дальнейшее описание электромагнитных процессов выполняется для отдельной гармоники поля символическим методом.

Поле падающей волны возбуждает в земле вихревые теллурические токи, которые являются причиной появления отраженной электромагнитной волны [12, 14]. Для анализа воздействия на рельсовые цепи достаточно считать почву на территории приемо-отправочного парка станции бесконечным однородным полупространством с известными проводимостью σ_1 , магнитной проницаемостью μ_1 , электрической проницаемостью ϵ_1 . Тогда отраженное поле электромагнитной волны

$$H_y^{ref} = H_0 \text{Rexp}(\gamma_0 z \cos \theta) \exp(-\gamma_0 x \sin \theta), \quad (1)$$

$$\gamma_0 = j\omega \sqrt{\epsilon_0 \mu_0},$$

$$R = \frac{K_0 - K_1}{K_0 + K_1},$$

$$K_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \cos \theta,$$

$$K_1 = \frac{(\lambda^2 + \gamma_1^2)^{\frac{1}{2}}}{\sigma_1 + j\omega\epsilon_1},$$

$$\lambda = \frac{\omega}{c} \sin \theta,$$

$$\gamma_1 = [j\omega\mu_1(\sigma_1 + j\omega\epsilon_1)]^{\frac{1}{2}},$$

где H_0 – напряженность магнитного поля падающей волны, А/м; x, z – координаты, м; θ – угол падения волны, рад; ω – круговая частота, рад/с; ϵ_0 – электрическая проницаемость воздуха, μ_0 – магнитная проницаемость воздуха, c – скорость света, м/с.

Положение векторов напряженности магнитного поля показано на рисунке 3 [12].

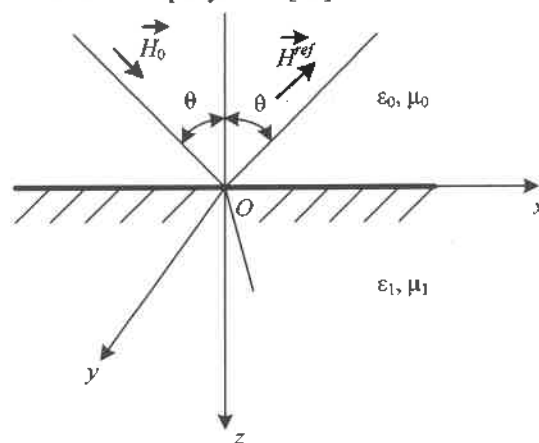


Рисунок 3 – Магнитное поле магнитной бури вблизи поверхности Земли

Отраженное поле (1) непосредственно воздействует на рецептор помехи – рельсовую линию. Комплексный магнитный поток через контур элементарного участка рельсовой линии Φ имеет вид [15]

$$\Phi = \mu_0 \mu \underline{H}(x) a dx, \quad (2)$$

где μ – магнитная проницаемость рельсовой линии; a – расстояние между подошвами рельсов, м.

По закону электромагнитной индукции в комплексной форме [15] напряженность электрического поля в рельсовой линии, В/м,

$$\underline{E} = -j\omega\Phi.$$

Тогда

$$\underline{E}(x) dx = -j\omega\mu_0\mu \underline{H}(x) a dx. \quad (3)$$

При воздействии геомагнитных возмущений на фазочувствительные рельсовые цепи наблюдается ложная занятость, т. е. отказ возникает на релейном конце рельсовой цепи. Поэтому для анализа представляет интерес только ток в релейном конце рельсовой цепи.

Для его расчета можно использовать метод, предложенный в книге [16] и основанный на теореме об эквивалентном генераторе. Расчетные соотношения для комплекса тока в релейном конце имеют вид

$$\underline{I}(l) = \frac{1}{\underline{Z}_B \underline{Z}_{\text{прив}}} \left[\underline{U}_{\text{пад}}(l) e^{\gamma l} (\underline{Z}_B + \underline{Z}_G) + \underline{U}_{\text{пад}}(0) (\underline{Z}_B - \underline{Z}_G) \right], \quad (4)$$

$$\underline{Z}_{\text{прив}} = e^{\gamma l} \frac{(\underline{Z}_B + \underline{Z}_G) + (\underline{Z}_B - \underline{Z}_G) \eta e^{-2\gamma l}}{1 - \eta},$$

$$\eta = \frac{\underline{Z}_H - \underline{Z}_B}{\underline{Z}_H + \underline{Z}_B},$$

$$\underline{U}_{\text{пад}}(0) = \frac{1}{\underline{Z}_B} \int_0^l \underline{E}(x) e^{-\gamma x} dx,$$

$$\underline{U}_{\text{пад}}(l) = \frac{-1}{\underline{Z}_B} \int_0^l \underline{E}(x) e^{-\gamma(l-x)} dx,$$

где $\underline{I}(l)$ – комплекс тока в релейном конце рельсовой цепи, А; $\underline{Z}_B$ – волновое сопротивление рельсовой линии, Ом/км; γ – комплексный километрический коэффициент затухания рельсовой линии; l – длина рельсовой линии, м; $\underline{Z}_G$ – комплексное сопротивление на генераторном конце рельсовой цепи, Ом; $\underline{Z}_H$ – сопротивление нагрузки рельсовой цепи, Ом.

Таким образом, имеется принципиальная возможность расчета электромагнитных процессов в фазочувствительных рельсовых цепях во время магнитной бури.

В публикации [4] также предложена математическая модель воздействия геомагнитных возмущений на рельсовые цепи. При сравнении ее с моделью, предложенной в данной статье, можно отметить следующее. Во-первых, в [4] недостаточно для проведения расчетов описана модель помехового поля. Во-вторых, расчет электромагнитных процессов в рельсовой линии ведется методом замены линии цепочечной схемой замещения в виде каскадного соединения П-образных четырехполюсников. Поэтому расчеты оказываются громоздкими и содержат избыточную информацию, так как представляет интерес только режим на релейном конце. В-третьих, не учтено, что геомагнитные вариации имеют несинусоидальную форму. Математическая модель геомагнитного воздействия в данной статье использует апробированную в геофизике модель магнитотеллурических процессов [5, 6, 12, 13] и метод расчета процессов в релейном конце рельсовой цепи на основании теоремы об эквивалентном генераторе [16]. Последнее, как видно из (4), существенно сокращает проведение расчетов. Таким образом, модель, предложенная в настоящей статье, имеет преимущества перед предложенной в [4].

Поскольку исходные данные для расчета (амплитуда электромагнитной волны, угол падения) выбраны по принципу наихудших условий, то расчет по предложенной модели может выявить только принципиальную возможность сбоя рельсовой цепи при магнитной буре. Прогноз сбоев в конкретной геомагнитной обстановке затруднен, так как недоступен долгосрочный количественный прогноз активности Солнца,

процессов в ионосфере и пульсаций магнитного поля на протяжении значительных промежутков времени. Результативность прогноза снижается, так как принята простейшая модель земли в виде однородного полупространства. Если принять, что земля состоит из нескольких слоев, то существенно усложняются расчетные соотношения и встает проблема определения электрических свойств этих слоев [12]. Пульсации магнитного поля аппроксимированы треугольными колебаниями, что вызывает отклонения результатов моделирования от реальных электромагнитных процессов.

В связи с этим даже для околополярных железных дорог Российской Федерации в [3] предлагается ограничиться использованием резервных способов регулирования и оперативного управления перевозочным процессом [17], к которым стоит прибегать в случае нарушений работы фазочувствительных рельсовых цепей в известные по прогнозу дни с повышенной солнечной активностью. Тем более это справедливо для Белорусской железной дороги, где такие нарушения возможны только в случае чрезвычайно больших геомагнитных возмущений.

Несмотря на указанные обстоятельства, исследование воздействия геомагнитных возмущений на аппаратуру железнодорожной автоматики и телемеханики, в том числе и на фазочувствительные рельсовые цепи, имеет несомненный теоретический интерес. Результаты исследований могут найти применение, в частности, для выявления причин нарушения перевозочного процесса. Поэтому оказывается востребованной и разработка математических моделей геомагнитного воздействия в теории рельсовых цепей.

Список литературы

- 1 Костромин, А. М. Влияние геоиндуцированных токов на дроссель-трансформаторы рельсовых цепей железнодорожной автоматики / А. М. Костромин // Известия Петербургского университета путей сообщения – 2022. – Т. 18, вып. 2. – С. 222–228.
- 2 Влияние космической погоды на надежность функционирования транспортных систем на высоких широтах / В. А. Пилпенко, А. А. Черников, А. А. Соловьев [и др.] // Russian Journal of Earth Sciences. – 2023. – Vol. 23, № 3. – С. 22–34.
- 3 Исследование влияния геомагнитной активности на функционирование систем железнодорожной автоматики в Арктической зоне России / Н. В. Ягова, И. Н. Розенберг, А. Д. Гвишиани [и др.] // Арктика: экология и экономика. – 2023. – Т. 13, № 3. – С. 341–352.
- 4 Boteler, D. H. Modeling Geomagnetic Interference on Railway Signaling Track Circuits / D. H. Boteler // Space Weather. – 2021. – Vol. 11, № 1. – P. 1–18.
- 5 Бердичевский, М. Н. Магнитотеллурическое зондирование горизонтальных однородных сред / М. Н. Бердичевский, В. И. Дмитриев. – М.: Недра, 1992. – 250 с.
- 6 Бердичевский, М. Н. Электрические разведки методом магнитотеллурического профилирования / М. Н. Бердичевский. – М.: Недра, 1968. – 254 с.
- 7 Кириенко, А. Г. Электрические рельсовые цепи / А. Г. Кириенко, Н. Л. Пельменева. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2006. – 94 с.
- 8 Чижевский, А. Л. Земля в объятиях Солнца / А. Л. Чижевский. – М.: Эксмо, 2020. – 928 с.
- 9 Физические основы прогнозирования ионосферных возмущений / М. И. Пудовкин, В. П. Козенов, Л. Л. Лазутин [и др.]; под ред. С. И. Исаева. – Л.: Наука, 1977. – 312 с.

10 Акимов, В. А. Основы анализа и управления рисками в природной и техногенной сферах / В. А. Акимов, В. В. Лесных, Н. Н. Разиев. – М. : Деловой экспресс, 2004. – 352 с.

11 Акимов, В. А. Риски в природе, техносфере, обществе и экономике / В. А. Акимов, В. В. Лесных, Н. Н. Разиев. – М. : Деловой экспресс, 2004. – 352 с.

12 Уэйт, Дж. Р. Геоэлектромагнетизм / Дж. Р. Уэйт. – М. : Недра, 1987. – 235 с.

13 Ваньян, Л. Л. Магнитотеллурическое зондирование слоистых сред / Л. Л. Ваньян, Т. И. Бутковская. – М. : Недра, 1980. – 228 с.

14 Сивухин, Д. В. Общий курс физики: электричество / Д. В. Сивухин. – М. : Наука, 1983. – 687 с.

15 Теоретические основы электротехники : в 3 т. / К. С. Демирчан, Л. Р. Нейман, Н. В. Коровкин [и др.]. – СПб. : Питер, 2006. – Т. 1. – 463 с.

16 Каллер, М. Я. Теория линейных электрических цепей железнодорожной автоматики, телемеханики и связи / М. Я. Каллер, Ю. В. Соболев, А. Г. Богданов. – М. : Транспорт, 1987. – 335 с.

17 Пищик, Ф. П. Безопасность движения на железнодорожном транспорте / Ф. П. Пищик. – Гомель : БелГУТ, 2009. – 267 с.

Получено 11.03.2025

D. V. Komnatny. Investigation of extremal geomagnetic activity influence on phase-sensitive track circuits in conditions of Byelorussian railway.

The influence of geomagnetic activity on phase-sensitive track circuits is considered. The physical mechanism of this influence is described. The methods of geomagnetic field influence on track circuits modeling are grounded. The geophysics model of disturbance magnetic field is chosen. The method of induced by geomagnetic storm current in track circuit relay end calculation, based on Thevenin equivalent theorem, is proposed. The prognostic possibilities limits of proposed method are analyzed. It is shown, that method allows to ascertain the malfunction possibility of principle for track circuit during geomagnetic field disturbances.

УДК 621.311

В. Н. ГАЛУШКО, кандидат технических наук, И. С. ЕВДАСЁВ, кандидат технических наук, И. Л. ГРОМЫКО, магистр технических наук, С. И. КРУК, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ЧАСТОТНЫЙ АНАЛИЗ ТРЕХФАЗНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Рассмотрены основные проблемы нейронных сетей на основе своевременной диагностики состояния трансформаторов, связанные с применением искусственных нейронных сетей (ИНС). Предложены основные критерии обнаружения дефектов сердечника или межвитковых коротких замыканий обмоток трансформаторов на основе фазочастотных характеристик. Для проведения частотного анализа был применён метод трёх вольтметров с применением генератора сигналов, на основе которого были получены частотные характеристики для нормального состояния трансформатора, с дефектами сердечника и короткозамкнутыми витками. При обнаружении дефектов в качестве исходных данных использовались импедансная и фазочастотная характеристики.

В настоящее время большая часть трансформаторов системы электроснабжения Республики Беларусь отработали установленный срок службы, однако многие могли бы ещё эксплуатироваться длительное время при условии соблюдения повышенных требований к методам диагностики их технического состояния.

Диагностика трансформаторов в настоящее время является довольно долгим и затратным мероприятием. Ныне существующие методы диагностики не всегда однозначно указывают на место и вид дефекта. Диагностические системы для предприятий электроэнергетической отрасли компании *Omicron*, например *Testrano 600*, реализованы в одном устройстве для плановых проверок на месте эксплуатации и при заводских приемочных испытаниях. Оборудование компании *Alstom Schorch Transformatoren* предоставляет сведения о состоянии трансформатора в режиме непрерывного контроля для силовых трехфазных трансформаторов мощностью от 10 до 100 МВА и более. Компания *Siemens* поставляет систему непрерывного контроля состояния *Sitram+* второго поколения на базе вычислительной системы *Sitmatic*, получающей сигналы от датчиков, установленных на трансформаторе, и производящей обработку, анализ и визуализацию данных измерений.

Анализ используемых методов и диагностических систем указывает на определенные сложности при дальнейшем их развитии. Это обусловлено сложностью входных сигналов, достаточно большим числом входных факторов, нелинейными множественными динамическими взаимосвязями с другими параметрами. Данный недостаток в увеличении точности диагностирования и распознавания образов возможно решить за счет применения нейронных сетей.

Несмотря на все безусловные достоинства применяемых как в Республике Беларусь, так и в Республике Узбекистан диагностических систем, они имеют ряд существенных недостатков: не являются универсальными (применяются под конкретные схемы, оборудование и т. д.); используется разнородная и разноточная информация; не учитывается динамика изменения критериев диагностирования оборудования, другими словами, системы не обучаемы. Поэтому применение самообучаемых систем на основе искусственных нейронных сетей позволит устранить перечисленные недостатки. При этом подготовка исходных данных для диагностических систем на основе экспериментальных исследований, например, при возникновении межвитковых замыканий (МКЗ) и других неисправностей представляет определенные практиче-

ские трудности, связанные, например, с большими величинами токов, которые могут повредить испытываемый трансформатор.

Оценка состояния обмотки требует определения параметров, по которым будет производиться анализ, а также выявления корреляции этих параметров с сопротивлением в месте дефекта, количеством короткозамкнутых витков, местоположением дефекта. Метод, позволяющий оценивать работоспособность трансформаторов в эксплуатационном периоде их работы, должен делать возможным выявление ослабления витковой изоляции. При замыкании любых медных проводников сопротивление в месте контакта не будет равно нулю из-за оксидных пленок и, в зависимости от усилия прижима, может находиться в пределах от нескольких десятков долей омов до десятков омов. Кроме этого, витки могут замыкаться через разрушенную, а часто и обугленную, изоляцию или через проводящие мостики, образованные локальными дефектами. В этом случае сопротивление может достигать 1000 Ом и более, т. е. значения, при котором трансформатор будет еще достаточно работоспособен. Однако такие дефекты обмотки в процессе эксплуатации будут активно прогрессировать. Это связано с тем, что, когда сопротивление в месте дефекта станет соизмеримо с модулем комплексного сопротивления витка, наводимая в нем ЭДС будет вызывать дополнительное лавинообразное тепловое разрушение изоляции витка и спекание соседних витков вплоть до выгорания всей катушки. Всё это в итоге способствует скорейшему выходу трансформатора из строя. При этом локальные ослабления изоляции могут возникать как из-за неправильной эксплуатации трансформаторов, так и по различным технологическим причинам (совпадения дефектов эмальизоляции провода в катушке, перетирания ее в месте перехлеста проводов, значительное давление в обмотке, приводящее к ее истиранию при динамических режимах работы и др.).

Основная задача методов обнаружения дефектов в обмотках и сердечнике трансформатора состоит в извлечении информативных признаков из данных, которые будут захвачены и переданы датчиком для обработки, например, в нейронную сеть, и выполнения классификации типа дефекта.

Выбор контролируемых параметров и характеристик авторы основывали на анализе существующих нормативных требований при квалификационных, приемосдаточных, периодических и типовых испытаниях и методах контроля, изложенных в ГОСТ Р 58115–2018, ГОСТ 21023–75, ГОСТ 16110–82, ГОСТ 3484.1–88.

В настоящее время перспективным методом диагностики состояния трансформатора является метод частотных характеристик (FRA). Согласно ГОСТ 59239–2020, частотные характеристики могут быть разбиты на три частотных диапазона: в нижнем частотном диапазоне определяющее влияние оказывает магнитопровод, в среднем частотном диапазоне – взаимодействие между обмотками, а в верхнем – конструкция измеряемой обмотки и внутренние соединения; также в области высших частот влияние оказывают измерительные кабели.

В статье [1] представлена методика интерпретации частотных характеристик, основанная на обработке изображений и их анализе с помощью сверточных нейронных сетей. Предложенная процедура переводит частотные характеристики в двумерные изображения с помощью техники визуализации. Точная локализация повреждений выполняется с помощью сверточной нейронной сети, а затем результаты анализируются с помощью метрик оценки производительности нейронной сети. Путем тестирования высокоомных повреждений в различных секциях моделируемой обмотки и пошагового применения предложенного метода, в данном исследовании также осуществляется раннее обнаружение повреждений.

Использование частотной характеристики для диагностики трансформатора было описано в статье [2]. Данный метод заключается в сравнении «фазовых портретов» трансформатора при различных технических состояниях. Однако данный метод не позволяет определить протяженность повреждения и его тип, поэтому нуждается в дальнейшей доработке.

Довольно интересный метод диагностики был представлен в статье [3]. Вместо FRA здесь предлагается использовать фигуры Лиссажу, построенные на вольт-амперной характеристике трансформатора. Преимущество данного метода по сравнению с FRA заключается в возможности в том числе непрерывного онлайн-мониторинга внутренних компонентов трансформатора. Однако предложенный метод чувствителен к изменениям нагрузки и различного рода помехам, а его практическое использование затруднено из-за необходимости создания модели электромагнитных процессов при различных дефектах.

Одним из авторов настоящей статьи был предложен метод диагностики межвитковых коротких замыканий, основанный на анализе с использованием сверточных нейронных сетей отношений токов, напряжений, активных мощностей и коэффициентов мощностей [4]. Данный метод имеет преимущество по сравнению с FRA в виде непрерывного онлайн-мониторинга работы трансформатора, как при контрольных испытаниях с отключением, так и в режиме работы под нагрузкой. С помощью сверточных нейронных сетей данный метод может не только определять наличие и примерное место межвиткового короткого замыкания, но также отличает данный вид неисправности от резких изменений нагрузки и различного рода помех. Однако данный метод не применим для обнаружения дефектов сердечника.

Экспериментально был осуществлен выбор контролируемых параметров для основных неисправно-

стей и возможные методы измерений контролируемых параметров в компонентах трансформаторов, а также определена направленность изменения параметров для промышленной частоты, которые в дальнейшем могут использоваться в качестве исходных данных для искусственных нейронных сетей.

Используя различные измерители иммитанса (например, E7-30 или HM8118), можно непосредственно получить амплитудно-частотные (импедансные) $Z(\omega)$ и фазочастотные $\phi(\omega)$ характеристики трансформаторов. При отсутствии таких приборов на практике можно использовать различные косвенные методы определения комплексных сопротивлений (или проводимостей) для каждой частотной составляющей сигнала с учетом их результирующей погрешности измерений.

Для проведения частотного анализа был использован метод трёх вольтметров. Схемы подключения задающего генератора сигналов и вольтметров для опытов холостого хода и короткого замыкания приведены на рисунке 1.

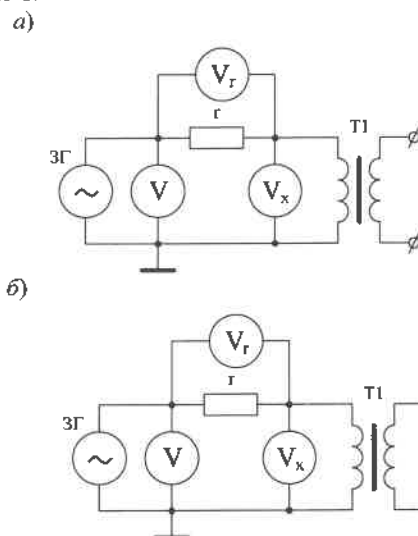


Рисунок 1 – Схемы подключения задающего генератора сигналов и вольтметров:

а – для опыта холостого хода; б – для опыта короткого замыкания

Для построения частотных характеристик используются четыре мультиметра В7-68 (один используется как частотомер, а другие – как вольтметры), задающий генератор сигналов ГЗ-112 и резистор r на 4,5 Ом.

С помощью магазина измерительных сопротивлений выполнялось изменение сопротивления в широких пределах от 0,1 Ом до 100 кОм для имитации различного состояния обмоток (МКЗ, межфазном КЗ) и сердечника. Эксперименты с трансформаторами проводились в лаборатории кафедры «Электротехника» Белорусского государственного университета транспорта.

С целью проведения статистического анализа измеряемых величин импедансных и фазочастотных характеристик выполнялись многократные измерения (для каждой из 100 фиксированных частот в диапазоне от 0 до 1 МГц проводилось по 30 измерений), на основании которых рассчитывались статистические оценки параметров распределения случайных величин: среднее значение и оценка среднего квадратического отклонения. При этом выполнялось определение интервальных оценок математического ожидания и

стандартного отклонения исследуемых результатов измерений с доверительной вероятностью 0,95 и проводилась проверка гипотезы о нормальном законе распределения. Отклонение результатов измерений относительно среднего значения для частот диапазона от 0 до 100 кГц не превысило 1 %.

При разработке универсальной диагностической системы необходимо учитывать не только данный фактор, но и диапазон значений по каждой из фаз. Поэтому если исходное измерение частотных характеристик отдельных фаз исследуемого трансформатора отсутствует, то можно выполнить сравнение с частотной характеристикой, полученной на другом трансформаторе той же серии (изготовленном по тем же чертежам и тем же заводом-изготовителем). Следует отметить, что из-за возможных отличий в конструкции обмоток даже в случае одного завода-изготовителя (например, модернизации серии), в том числе для однотипных трансформаторов, результаты экспериментов

частотных характеристик могут отличаться. В некоторых случаях при диагностических мероприятиях на предприятиях можно допустить использование неповрежденной фазы для оценки состояния обмотки при условии, что длина магнитной цепи одинакова для рассматриваемых фаз.

На рисунке 2 представлены импедансные и фазочастотные характеристики трехфазного трансформатора ТМ-50/6 при межфазном КЗ в режиме холостого хода для диапазона частот 0–100 кГц. Полученные изображения могут использоваться после нормировки в качестве исходных данных для искусственных нейронных сетей [5]. Особое внимание требуется уделить таким факторам в порядке их значимости, как форма фазовых характеристик, амплитуды резонансов, смещения резонансных частот и число резонансов, связав их с требуемой детализацией при классификации неисправностей.

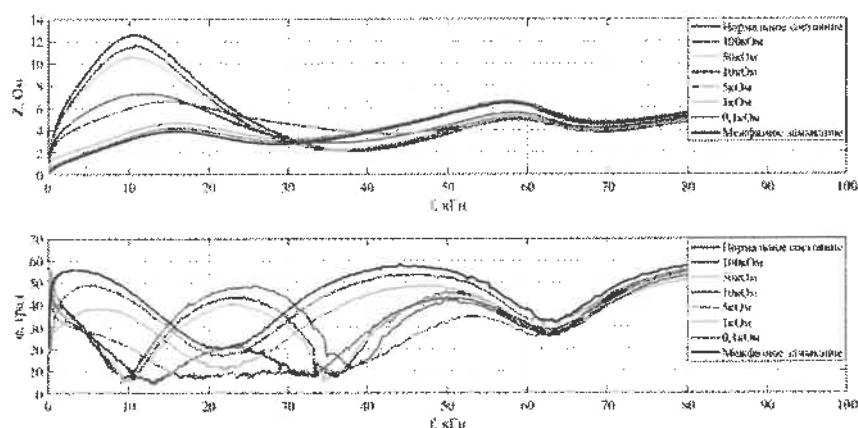


Рисунок 2 – Импедансные и фазочастотные характеристики при межфазном КЗ

Из рисунка 2 можно сделать следующие выводы:

- наиболее значимые изменения присущи первому «резонансу» до достижения частоты 30–50 кГц;
- амплитуда первого «резонанса» импедансных характеристик снижается по мере уменьшения сопротивления между фазами до наступления полного межфазного КЗ;
- фазочастотные характеристики отличаются значимым изменением формы кривой и сдвигом частоты в большую сторону для первого «резонанса»;
- характер изменения фазочастотных характеристик отличается снижением фазы первого «резонанса»

до 5 кОм, а затем увеличением емкостной составляющей до нескольких омов при межфазном КЗ.

Сравнительный частотный анализ межфазного КЗ и межвиткового КЗ трансформатора ТС-280Р (рисунок 3) указывает на следующие отличия:

- для межвиткового КЗ наблюдается значительный сдвиг первой резонансной частоты импедансной характеристики;
- форма фазочастотных характеристик значительно отличается;
- для фазочастотной характеристики регистрируется классификационный диапазон на частотах 75–90 кГц (выделено красной пунктирной линией).

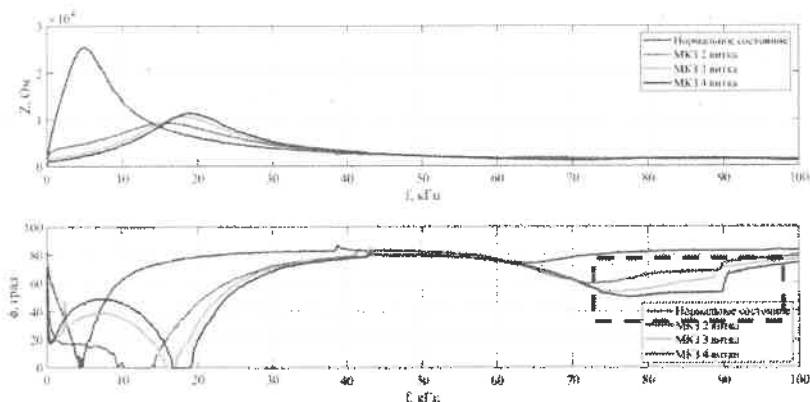


Рисунок 3 – Импедансные и фазочастотные характеристики при МКЗ для диапазона частот 0–100 кГц

Сравнительный частотный анализ межвиткового КЗ и повреждений сердечника трансформатора ОСМ-1,0 УЗ в опыте ХХ (рисунок 4) указывает на следующие отличия:

– для дефектов сердечника наблюдается увеличение амплитуды (в отличие от МКЗ и междуфазного

КЗ, где происходит снижение) и значительный сдвиг первой резонансной частоты импедансной характеристики;

– значительно изменяется форма фазочастотных характеристик.

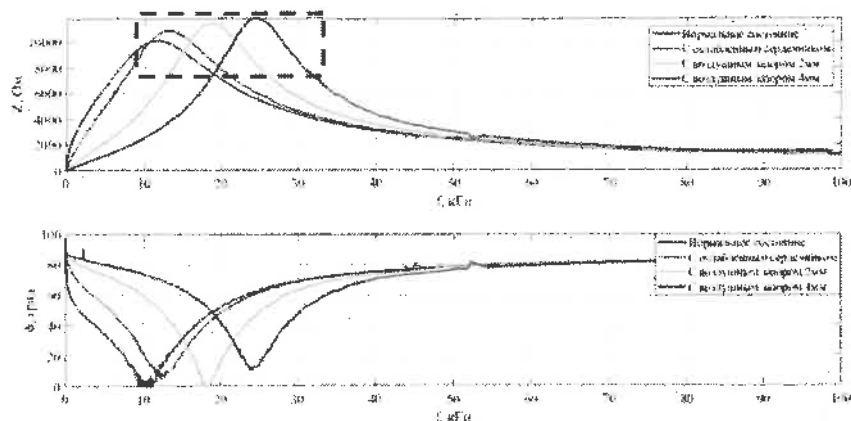


Рисунок 4 – Импедансная и фазочастотная характеристики при обнаружении дефектов сердечника трансформатора ОСМ-1,0 УЗ

На основании приведенных результатов измерений наиболее распространенных повреждений или направленности развития неисправностей изоляции обмоток и состояния сердечника наибольшие изменения в импедансных и фазочастотных характеристиках связаны со следующими параметрами: амплитудой первого «резонанса» импедансных характеристик и сдвигом его частоты; формой фазочастотных характеристик. В связи с этим авторы разработали архитектуру сверточной нейронной сети, позволяющую определять и классифицировать указанные процессы [6].

Приведенные результаты исследования позволяют оценить влияние уровня межвиткового сопротивления, места дефекта и количества витков, задействованных в дефекте, на изменение информативного параметра. Анализ полученных комплексных зависимостей фазочастотных характеристик обмоток исследуемых трехфазных трансформаторов показал возможность оценки их состояния по ФЧХ даже в случае дефекта в виде замыкания одного витка в последней секции обмотки, в том числе через сопротивление более 1 кОм, что характерно для еще неразвившегося дефекта в обмотках.

Сравнительный анализ частотных характеристик однофазных и трехфазных трансформаторов при диагностировании предотказных состояний и отказов авторы используют в качестве основы при создании универсальной диагностической системы определения и классификации неисправностей трансформаторов на основе сверточных нейронных сетей однофазных и трехфазных трансформаторов. В результатах работы могут быть заинтересованы энергетические предприятия Республики Беларусь.

Получено 26.02.2025

V. N. Galushko, I. S. Evdasev, I. L. Gromyko, S. I. Kruk. Frequency analysis of three-phase transformers.

The main problems of timely diagnostics of the condition of transformers, including those based on the use of artificial neural networks (ANN), are considered. Basic criteria for detecting core defects or interturn short circuits in transformer windings based on phase-frequency characteristics are proposed. To carry out frequency analysis, the method of three voltmeters was used using a signal generator, on the basis of which frequency characteristics were obtained for the normal state of the transformer, with core defects and short-circuited turns. When detecting defects, impedance and phase characteristics were used as initial data.

Список литературы

- 1 Turn-to-Turn Short Circuit Fault Localization in Transformer Winding via Image Processing and Deep Learning Method / A. Moradzadeh, H. Moayyed, B. Mohammadi-Ivatloo, [et al.] // IEEE Transactions on Industrial Informatics. – 2022. – Vol. 18, № 7. – P. 4417–4426. – DOI: 10.1109/TII.2021.3105932.
- 2 Vosoughi, A. Evaluation of the Image Processing Technique in Interpretation of Polar Plot Characteristics of Transformer Frequency Response / A. Vosoughi, M. Hamed Samimi // International Conference on Machine Vision and Image Processing (MVIP), Ahvaz, Iran, Islamic Republic, 2022. – P. 1–6. – DOI: 10.1109/MVIP53647.2022.9738771.
- 3 Zhao, X. Experimental Evaluation of Transformer Internal Fault Detection Based on V-I Characteristics / X. Zhao // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2020. – Vol. 67, № 5. – P. 4108–4119. – DOI: 10.1109/TIE.2019.2917368.
- 4 Hramyka, I. Development of Software and Hardware for Identification of Interturn Short Circuit in Single-Phase Transformers / I. Hramyka // Third International Conference on Power, Control and Computing Technologies (ICPC2T), Raipur, India, 2024. – P. 241–246. – DOI: 10.1109/ICPC2T60072.2024.10474962.
- 5 Галушко, В. Н. Разработка методологических принципов диагностирования трансформаторов системы нетягового железнодорожного электроснабжения с помощью искусственных нейронных сетей : монография / В. Н. Галушко, И. Л. Громыко, Д. В. Ермоленко. – Гомель : БелГУТ, 2025. – 167 с.
- 6 Технология применения диагностического комплекса трансформаторов / А. Н. Пехота, В. Н. Галушко, Б. М. Хрусталев, Д. В. Мирош // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2024. – Т. 67, № 2. – С. 125–136. – DOI: 10.21122/1029-7448-2024-67-2-125-136.

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

УДК 656

*Ю. В. БУРТЫЛЬ, кандидат технических наук, Белорусский национальный технический университет, г. Минск,
П. В. ВАВИЛОВ, кандидат технических наук, ООО «Дорожные решения» г. Заславль*

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ КАК ОБЪЕКТ НАЦИОНАЛЬНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В XXI ВЕКЕ

Рассмотрены научно-исследовательские, опытно-конструкторские и опытно-технологические работы, зарегистрированные в Государственном реестре научно-исследовательских работ, а также авторефераты, размещенные в электронном каталоге Национальной библиотеки Беларуси. Описаны методы поиска исходных данных в указанных электронных базах. Приведены количественные данные, характеризующие НИОК(Т)Р в сфере обеспечения безопасности дорожного движения, выполненные за последние 25 лет в Республике Беларусь в разрезе ведомственной подчиненности организаций-исполнителей, а также решаемых научных проблем. Показана тенденция к снижению активности научно-технической деятельности в предшествующие пять лет и сформулированы вероятные причины её возникновения. На основе анализа диссертационных исследований продемонстрировано наличие экспертного сообщества в сфере обеспечения безопасности дорожного движения. Количество квалификационных научных работ и их проблематика, по мнению авторов, являются явными признаками формирования специальности «Обеспечение безопасности дорожного движения», формализация которой могла бы послужить дополнительным импульсом к развитию в данном направлении. Предложены направления дальнейших исследований, которые могут быть как продолжением данной работы, так и новыми, соответствующими актуальным проблемам обеспечения безопасности дорожного движения, основанными на принципах межведомственного взаимодействия.

Введение. Обеспечение безопасности дорожного (БДД) движения в Республике Беларусь является объектом и предметом постоянной деятельности государства – различных его институтов: государственных органов и государственных организаций, комиссий [1], академической науки, высших учебных заведений и других заинтересованных организаций. Одними из таких свидетельств непрерывного и очевидно возрастающего внимания государства являются законодательные акты и государственные программы. Так, в мае 2023 года была обновлена национальная Концепция обеспечения безопасности дорожного движения [2], которая почти вдвое объемнее предыдущей редакции [3]. В программе «Дороги Беларуси» на 2021–2025 годы [4] в отличие от предшествующей программы [5] выделены шесть задач (мероприятий) по повышению безопасности дорожного движения на республиканских автомобильных дорогах, а сама деятельность по повышению БДД становится одной из основ научно-технического обеспечения дорожной отрасли на данный период.

Одним из элементов социально-экономической политики государства является воздействие им на субъекты научной и научно-технической деятельности, основанное на принципах приоритетности, актуальности, получения преимущественного развития, общности деятельности и др. [6]. Научно-техническая деятельность в конкретной сфере человеческой жизнедеятельности служит фактически маркером решения самых важных, востребованных и сложных задач.

В статье рассматривается проблематика обеспечения безопасности дорожного движения через призму национальной научно-технической деятельности.

Цель работы – выявить основные направления национальной научно-технической деятельности в сфере обеспечения безопасности дорожного движения в период с 2000 по 2024 год. Для этого необходимо решить следующие задачи:

1 Осуществить поиск работ в реестре научно-исследовательских, опытно-конструкторских и опытно-техно-

логических работ (далее – НИОК(Т)Р), относящихся к сфере обеспечения безопасности движения; проанализировать их тематическую направленность и дать количественную оценку институционального вклада.

2 Осуществить поиск в электронном каталоге Национальной библиотеки Беларуси авторефераты по направлению обеспечения безопасности движения; проанализировать их тематическую направленность и дать количественную оценку относительно общего числа работ по дорожной тематике.

Проблема, рассматриваемая в настоящей публикации, будет решена в первом приближении, вследствие ограничений используемого метода получения исходных данных из открытых источников, а также вероятным смещением оценки авторов при классификации научных работ, вызванным личным профессиональным опытом.

Рассмотрение авторефератов в связи с поставленной целью представляет интерес потому, что они являются результатом продолжительной и целенаправленной научной деятельности. Данная деятельность также, как и НИОК(Т)Р, основана на применении научных методов достижения цели, является актуальной, обладает новизной и значимостью, и, в целом, имеет прямые связи с проводимыми в республике научными программами (темами), развивая их согласно личным взглядам и интересам соискателя. Это в свою очередь приводит к выстраиванию определённых научных взглядов на проблематику и пути ее решения, давая тем самым обратную связь существующему направлению развития научно-технической деятельности, при этом также формируется определенная экспертная среда.

Безопасность дорожного движения. Проблематика. В Беларуси понятие «безопасность дорожного движения» закреплено в Правилах дорожного движения – это состояние дорожного движения, обеспечивающее минимальную вероятность возникновения опасности для движения и дорожно-транспортного происшествия [7]. В ТР ТС 014/2011 [8] термин «безопасность дорожного

движения» определяется как «состояние дорожного движения, отражающее степень защищенности его участников от дорожно-транспортных происшествий и их последствий» (дублирует ПДД РФ [9]).

Задачи по обеспечению безопасности дорожного движения (далее – БДД) сформулированы в национальном Законе [10] и Концепции обеспечения безопасности дорожного движения [2] (далее – Концепция). Согласно [2] государственная политика в области дорожного движения и обеспечения его безопасности основывается на осуществлении (групповых) мер:

- (14.1) принимаемых в отношении транспортных средств;

- (14.2) принимаемых в отношении водителей механических транспортных средств и самоходных машин (далее – водители);

- (14.3) принимаемых в отношении иных участников дорожного движения (пешеходов, пассажиров, велосипедистов, лиц, передвигающихся на средствах персональной мобильности, и других);

- (14.4) принимаемых в отношении дорожно-транспортной инфраструктуры;

- (14.5) принимаемых в отношении организации дорожного движения;

- (14.6) принимаемых в отношении интеллектуальных транспортных систем;

- (14.7) принимаемых в отношении повышения эффективности государственного управления и государственного контроля в области дорожного движения;

- (14.8) принимаемых в отношении формирования государственной идеологии управления дорожным движением;

- (14.9) направленных на получение широкой общественной поддержки.

Каждая из перечисленных в Концепции задач раскрывается в виде перечня мероприятий, соответствующих групповому направлению. Эти задачи в настоящей публикации целесообразно использовать в качестве классифицирующих признаков (тематик) научно-технической деятельности в сфере обеспечения БДД, поскольку позволит количественно оценить каждое из направлений, содержащихся в Концепции.

Описание метода решения. Поиск НИОК(Т)Р в Государственном реестре научно-исследовательских, опытно-конструкторских и опытно-технологических работ (далее – Государственный реестр) [11] осуществлялся по ключевым словам. Используемые ключевые словоформы и их сочетания: «дорожн*», «движен*», «безопасн* движен*», «транспорт», «происшеств*», «перевозок», «ДТП», «страхован*». Дополнительно работы фильтровались по рубрикам ГРТНИ, основные из которых – «55. Машиностроение», «67. Строительство. Архитектура», «73. Транспорт».

Поиск авторефератов осуществлялся в электронном каталоге Национальной библиотеки Беларуси [12]. Для поиска по предметной области (поле «Предмет») использовались словосочетания: безопасность дорожного движения, автомобильный транспорт, регулирование дорожного движения, дорожно-транспортные происшествия, транспортные средства, организация перевозок, безопасность движения, дорожное движение, транспортные потоки. Далее уточнялся результат поиска:

«Белорусский национальный документ» с последующей перекрёстной фильтрацией по полям «Вид документа» (Авторефераты диссертаций), «Дата издания» (от 2000). Окончательный отбор осуществлялся автором, при этом исключались авторефераты, опубликованные вне Беларуси, а также работы зарубежных исследователей, если тема не касалась белорусской проблематики.

Для поиска авторефератов по дорожной проблематике использовался аналогичный алгоритм, при этом предметная область составляли следующие слова и сочетания: «автомобильные дороги», «искусственные сооружения», «мосты», «путепроводы», «придорожные полосы», «дорожно-строительные материалы», «битум», «дорожные покрытия», «цементобетонные покрытия», «асфальтобетон», «дорожные одежды», «транспортные сооружения», «дорожное строительство», «дорожное хозяйство», «дороги», «улично-дорожные сети», «дорожные конструкции», «автомобильный транспорт», «транспортная сеть», «транспортно-эксплуатационное состояние автомобильных дорог».

Результаты и их обсуждение. Результаты поиска в Государственном реестре НИОК(Т)Р, относящихся к сфере обеспечения БДД, а также анализа их тематической направленности в разрезе ведомственной принадлежности за период с 2000 по 2024 год приведены на рисунке 1.

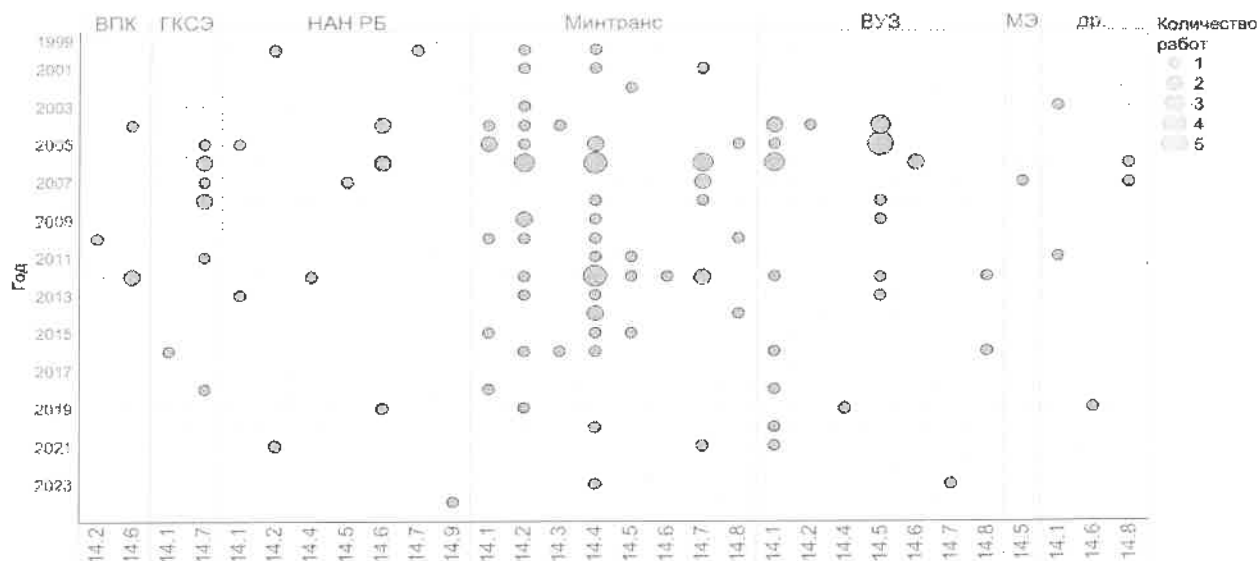
Значительный вклад в направления обеспечения БДД, касающиеся организации дорожного движения (14.5) и транспортных средств (14.1), вносят учреждения высшего образования республики (далее – УВО): 67 и 50 % работ, соответственно. Наименьшее количество НИОК(Т)Р проведено по направлениям, связанным с получением широкой общественной поддержки (14.9) и в отношении иных участников дорожного движения (14.3): 3 и 2 %, соответственно.

Представленные данные очевидным образом указывают на определяющую роль Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь (далее – Минтранс) в научно-технической деятельности, направленной на обеспечение БДД. Данная деятельность охватывает восемь из девяти задач по обеспечению БДД, а в количественном отношении 51 % НИОК(Т)Р (64 из 126 работ) выполнено предприятиями дорожного хозяйства.

Почти четверть общего числа НИОК(Т)Р – 24 % (30 работ) – реализована в стенах высших учебных заведений, и еще 10 % (13 работ) – различными подразделениями Национальной академии наук Республики Беларусь.

Стоит отметить работы, выполненные в НПЦ Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь (далее – ГКСЭ). По своей сути они относятся к экспертной работе, которая отсутствует в перечне мероприятий Концепции. При подготовке данной публикации они были отнесены к задачам «повышение эффективности государственного управления и государственного контроля в области дорожного движения» (14.7) и «транспортные средства» (14.1) в соответствии с предметом выполненных исследований.

В разрезе решаемой проблематики Минтранс в трех (14.2–14.4) из девяти направлений выполняет 79–100 % работ (рисунок 2).



ГКСЭ НПЦ Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь

ВПК Военно-промышленный комплекс (ОАО «АГАТ-СИСТЕМ», ООО «Белфортекс», УП «НИИСА»)

ВУЗы Высшие учебные заведения (Академия МВД, БГУ, БГУИР, БелГУТ, БЕЛМАПО, Белорусско-Российский университет, БНТУ, БрГТУ)

Минтранс Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь (БелдорНИИ, Белдорцентр, БелНИИТ «Транстехника», ОАО «Авиакомпания «Белавиа»))

НАН РБ Национальная Академия наук Республики Беларусь (ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника», Институт математики НАН Беларуси, Институт социологии НАН Беларуси, Институт физики НАН Беларуси; НВРУП «Элкерм», Объединённый институт машиностроения НАН Беларуси, ОИПИ НАН Беларуси)

МЭ Министерство экономики Республики Беларусь

Др. Другие организации (БАМЭГУ «Белорусская МИС», НЦЗПИ, ОАО «СВЯЗЫНВЕСТ»)

14.1-14.9 Меры (групповые) государственной политики в области дорожного движения и обеспечения его безопасности, предусмотренные Концепцией [2]

Рисунок 1 – НИОК(Т)Р, относящиеся к сфере обеспечения БДД, за период с 2000 по 2024 год

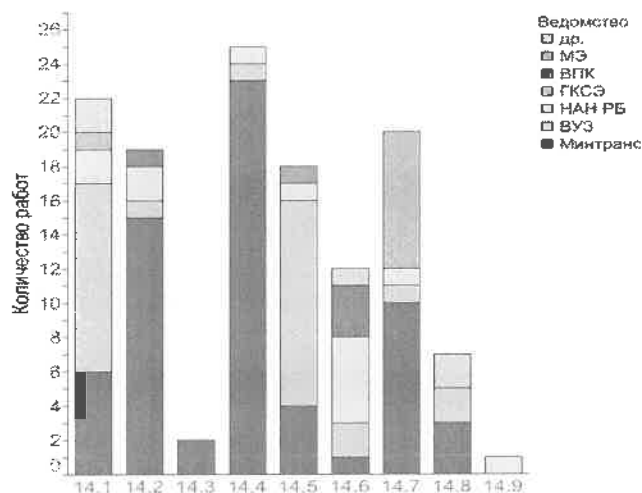


Рисунок 2 – Проблематика НИОК(Т)Р, относящихся к сфере обеспечения БДД (2000–2024 годы)

Наибольшее количество научных работ, зарегистрированных в Государственном реестре, приходится на направления «дорожно-транспортная инфраструктура» (14.4) и «транспортные средства» (14.1) – 20 и 17 % соответственно. Еще по трём направлениям «повышение эффективности государственного управления и государственного контроля в области дорожного движения» (14.7), «водители» (14.2) и «организация дорожного движения» (14.4) выполнено практически равное количество работ, в сумме составляющих 45 % от общего числа. В целом можно говорить, что названные пять задач обеспечения БДД решаются на

систематической основе – в среднем по каждому из этих направлений выполнялась одна работа ежегодно.

За анализируемый промежуток времени регистрировалось в среднем 7 новых НИОК(Т)Р каждый год. Максимальное единовременное количество работ (20 ед.) отмечается в 2006 году, когда была утверждена первая Концепция [3]. Еще один пик отмечается в 2012 году: зарегистрировано 15 работ, большинство из которых связано с подготовкой к введению в действие на территории Беларуси ТР ТС 014/2011 [8].

Рассматривая научно-техническую деятельность Минтранса в сфере обеспечения БДД, необходимо выделить лидирующую роль Белорусского научно-исследовательского института транспорта «Транстехника» (рисунок 3).

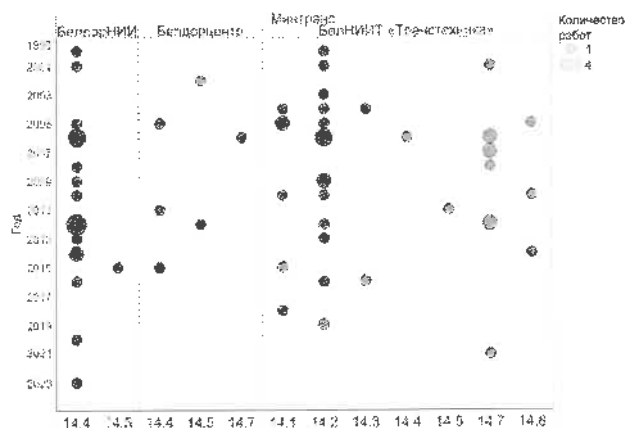


Рисунок 3 – НИОК(Т)Р в сфере обеспечения БДД, выполненные предприятиями Минтранса (2000–2024 годы)

В БелНИИТ «Транстехника» выполнено 29 % (37 ед.) общего числа НИОК(Т)Р в сфере обеспечения БДД по семи направлениям деятельности. Основная специализация – «транспортные средства» (14.1), «водители» (14.2) и «повышение эффективности государственного управления и государственного контроля в области дорожного движения» (14.7): 27, 79 и 45 % от общего числа по направлению, соответственно.

Также следует отметить важную роль государственного предприятия «БелдорНИИ» в научно-технической деятельности, направленной на совершенствование дорожно-транспортной инфраструктуры (14.4), – 76 % от числа работ по указанному направлению. Всего за рассматриваемый период выполнено 20 НИОК(Т)Р, что составляет 16 % от общего числа работ в сфере обеспечения БДД.

При этом научная деятельность в сфере обеспечения БДД не является основным направлением ни для одного из предприятий Минтранса, если оценивать её в процентах от общего количества НИОК(Т)Р, зарегистрированных в Государственном реестре работ, выполненных данными предприятиями за 25 лет:

- для РУП «Белдорцентр» это 5 % (6 из 123 работ);
- для БелНИИТ «Транстехника» – 9 % (37 из 411 работ);
- для БелдорНИИ – 11 % (20 из 174 работ).

Среди УВО наибольшее число выполненных НИОК(Т)Р отмечено в БНТУ – 10 % от общего числа работ, основными направлениями науки в сфере обеспечения БДД являются «транспортные средства» (14.1) и «организация дорожного движения» (14.5).

Анализируя количественные данные, представленные на рисунках 1 и 2, можно говорить, что есть направления, которые проработаны меньше других. В первую очередь это касается мер, направленных на получение широкой общественной поддержки (14.9). Единственная НИОК(Т)Р по данному направлению зарегистрирована в 2023 году, при этом в ней вопрос обеспечения БДД не является приоритетным.

Вторым направлением с наименьшим количеством проведенных НИОК(Т)Р является «иные участники дорожного движения (пешеходы, пассажиры, велосипедисты, лица, передвигающиеся на средствах персональной мобильности, и другие)» (14.3). Учитывая проблему обеспечения безопасности уязвимых участников движения в целом и возрастающую роль средств персональной мобильности и велосипедного движения в частности, а также характер связанных с этим вопросов, представляется своевременным и целесообразным проведение целого ряда НИОК(Т)Р по данной тематике. Это проблема является комплексной, требующей рассмотрения различных аспектов: правовых, организационных, инфраструктурных, технических, формирования государственной идеологии и общественной поддержки, т. е. институционального взаимодействия фактически по всем направлениям, выделенным в Концепции [2].

Анализируя данные, приведенные на рисунке 1, также можно заметить общую тенденцию к снижению количества НИОК(Т)Р, начавшуюся в 2016 году. А в последние пять лет ежегодно регистрировалось в среднем всего две научных работы. Среди предполагаемых причин этого процесса можно назвать следующие:

– разработка в групповой задаче положительного решения по конкретному мероприятию, соответствующего уровню требований на данном промежутке времени и, как возможное следствие, окончание внутриведомственной заинтересованности в продолжении деятельности в данном направлении;

– возрастающие требования к НИОК(Т)Р, вызванные последовательными изменениями в государственной политике в области научной деятельности, с одновременным увеличением дефицита компетентности исполнителей;

– узкая специализация организаций-исполнителей при отсутствии внешней и внутриведомственной конкуренции, а также межведомственного взаимодействия.

Вместе с тем ряд экспертов уже фиксируют тренды, характеризующие ухудшающееся состояние БДД по количеству дорожно-транспортных происшествий, погибших и травмированных участников дорожного движения в последние пять лет [13]. Кроме того, они отмечают острую необходимость в отказе от узкокорпоративных интересов и призывают к взаимодействию и единой координации усилий по обеспечению БДД [13]. Таким образом, причины снижения активности научно-технической деятельности, возможно, носят неявный и более комплексный характер.

Рассматривая научно-техническую деятельность, связанную с обеспечением БДД, в среде научного сообщества (рисунок 4), т. е. научные квалификационные работы, можно сделать вывод о преобладании проблематики по «организации дорожного движения» (14.5) – 37 % (7 из 19 диссертаций). Другие вопросы по убыванию их отношения к общему количеству – «формирование государственной идеологии управления дорожным движением» (14.8) – 26 % (5 диссертаций из 19), «водители» (14.2) – 16 % (3 диссертации). При этом исходя из количества диссертационных работ, можно говорить о формировании институционального экспертного сообщества, включающего ученых автотранспортного факультета БНТУ и факультета «Управление процессами перевозок» БелГУТа.

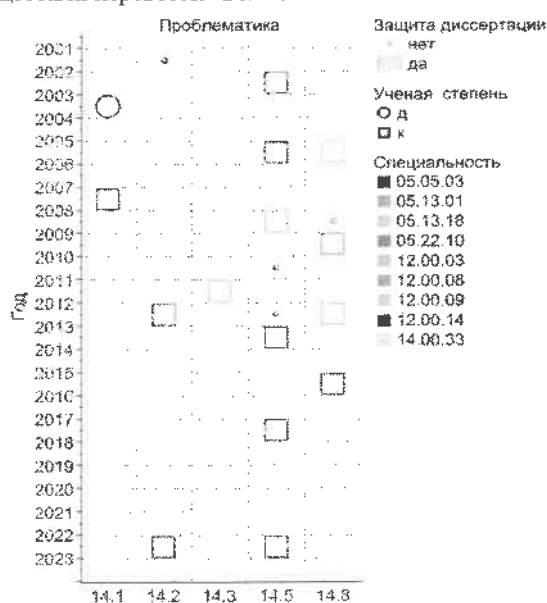


Рисунок 4 – Авторефераты диссертаций по проблемам обеспечения БДД (2000–2024 годы)

Проблематика диссертаций (авторефератов) значительно отличается от НИОК(Т)Р, зарегистрированных в Государственном реестре. Отсутствуют работы по тематикам «дорожно-транспортная инфраструктура» (14.4), «интеллектуальные транспортные системы» (14.6), «широкая общественная поддержка» (14.9), при объеме НИОК(Т)Р по данным направлениям 20, 10 и 2 %, соответственно. При этом по направлению «обеспечение БДД» за 25 лет представлено 19 из 56 (35 %) авторефератов по дорожной деятельности в целом, т. е. почти каждая третья работа связана с данным научным направлением. С этой точки зрения, а также учитывая перечень конкретных направлений исследований (мероприятий), изложенных в Концепции [2], и фактически защищенных диссертаций, можно говорить о существовании неформализованной специальности «Обеспечение безопасности дорожного движения» в области технических наук. Надо полагать, появление паспорта данной специальности будет способствовать научной деятельности в сфере БДД, формированию новых и совершенствованию существующих учебных программ в учреждениях высшего образования, а также послевузовского образования, и, как следствие, внедрению более эффективных методов обеспечения безопасности движения в дорожную практику и жизнь белорусского общества.

Заключение. В результате настоящего исследования получены данные о количестве НИОК(Т)Р и авторефератов, посвященных проблеме обеспечения безопасности дорожного движения, выполненных в Республике Беларусь в период с 2000 по 2024 год и классифицированных согласно групповым мерам Концепции [2]. Поставленная цель достигнута путем выявления основных направлений научно-технической деятельности и институционального вклада в каждое из них.

В результате поиска и анализа НИОК(Т)Р, зарегистрированных в Государственном реестре, установлена определяющая роль Минтранса в научно-технической деятельности, направленной на обеспечение безопасности дорожного движения, а также весомый вклад вузовской и академической науки. При этом была дана количественная оценка классифицированным научным работам в институциональном разрезе. Кроме того, в результате проделанной работы выявлено наличие тенденции к снижению количества НИОК(Т)Р и приведены вероятные причины данного явления.

Анализ диссертационных исследований в сфере обеспечения БДД показал преобладание направления по «организации дорожного движения». При этом отмечено формирование институционального экспертного сообщества (автотракторный факультет БНТУ и факультет «Управление процессами перевозок» БелГУТ) и существование неформализованной научной специальности «Обеспечение безопасности дорожного движения», подтверждаемое количеством и тематической направленностью научных работ.

Основными достоинствами подхода к оценке научно-технической деятельности в сфере БДД, изложенного в настоящей публикации, является возможность ретроспекции при современной постановке проблематики. Недостатки проявляются в смещении оценки, вызванной

качеством подготовки и классификации исходных данных, а также в самом методе классификации, основанном на формальных признаках (название, предметное поле, ключевые слова), а не на сущностном анализе научных работ.

В дальнейшем проведенная работа может получить развитие путем анализа вклада каждого из направлений в количественные показатели, характеризующие состояние БДД, для определения эффективности выполненных работ и назначения перспективных первоочередных задач. Также результаты проделанной работы однозначным образом указывают на пробелы в научно-технической деятельности в вопросах, «принимаемых в отношении иных участников дорожного движения» и «направленных на получение широкой общественной поддержки», которые представляют собой актуальные и перспективные направления научной деятельности в формате межведомственного взаимодействия.

Список литературы

- 1 О создании Постоянной комиссии по обеспечению безопасности дорожного движения при Совете Министров Республики Беларусь : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 05.04.2007 № 437 // ЭТАЛОН: информ.-поисковая система (дата обращения: 18.10.2020).
- 2 О Концепции обеспечения безопасности дорожного движения в Республике Беларусь : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 22 мая 2023 г. № 329 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL : <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22300329> (дата обращения: 18.10.2024).
- 3 Об утверждении Концепции обеспечения безопасности дорожного движения в Республике Беларусь : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 14 июня 2006 г. № 757 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL : [https://pravo.by/pdf/2006-94/2006-94\(021-026\).pdf](https://pravo.by/pdf/2006-94/2006-94(021-026).pdf) (дата обращения: 18.10.2024).
- 4 О государственной программе «Дороги Беларуси» на 2021–2025 годы : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 9 апр. 2021 г. № 212 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL : <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100212> (дата обращения: 18.10.2024).
- 5 Об утверждении Государственной программы по развитию и содержанию автомобильных дорог в Республике Беларусь на 2017 – 2020 годы : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 18 сент. 2017 г. № 699 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL : <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C21700699> (дата обращения: 18.10.2024).
- 6 Об основах государственной научно-технической политики : Закон Республики Беларусь от 19 янв. 1993 г. № 2105-XII 212 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL : <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=v19302105> (дата обращения: 18.10.2024).
- 7 О мерах по повышению безопасности дорожного движения : Указ Президента Респ. Беларусь от 28 нояб. 2005 г. № 551 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL : [https://pravo.by/document/?guid=2012&oldDoc=2005-189/2005-189\(007-070\).pdf&oldDocPage=1](https://pravo.by/document/?guid=2012&oldDoc=2005-189/2005-189(007-070).pdf&oldDocPage=1) (дата обращения: 18.10.2024).
- 8 Безопасность автомобильных дорог : ТР ТС 014/2011. – Введ. 15.02.2015. – Принят Решением Комиссии Таможенного союза от 18 окт. 2011 г. № 827 с учетом Решения Комиссии Таможенного союза от 9 дек. 2011 г. № 859. – URL:

https://eec.eaeunion.org/upload/medialibrary/8d3/P_827_1.pdf (дата обращения: 18.10.2024).

9 О безопасности дорожного движения : федеральный Закон Российской Федерации, 10.12.1995 № 196-ФЗ. // Президент России. – URL : <http://www.kremlin.ru/acts/bank/8592> (дата обращения: 18.10.2024).

10 О дорожном движении : Закон Республики Беларусь от 5 янв. 2008 г. № 313-З // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL : <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=H10800313> (дата обращения: 18.10.2024).

11 Государственный реестр научно-исследовательских, опытно-конструкторских и опытно-технологических работ // БелИСА. – URL : <http://webiis.belisa.org.by/reestr/> (дата обращения: 18.10.2024).

12 Электронный каталог Национальной библиотеки Беларуси. – URL : <https://e-catalog.nlb.by/> (дата обращения: 18.10.2024).

13 Концепция безопасности дорожного движения в Республике Беларусь / Д. В. Капский, С. В. Богданович, Е. Н. Кот, Л. В. Хмельницкая // Наука и техника. – 2024. – Т. 23, № 2. – С. 163–171. – DOI: <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2024-23-2-163-171>.

Получено 02.05.2025

Y. V. Burtul, P. V. Vavilau. Road safety as the object of national scientific and technical activity in the xxist century.

The purpose of this publication is to determine the focus areas of national scientific and technical activity in the field of road safety in the period from 2000 to 2024 in accordance with the modern problematics set out in the Road Safety Concept. For this purpose, research, development and experimental-technological works registered in the State Register of Research and Development Works, as well as abstracts contained in the electronic catalog of the National Library of Belarus were considered. The article describes the methods for searching for source data in the specified electronic databases. Quantitative data characterizing Research, Development and Engineering (Technological) research in the field of road safety carried out over the past 25 years in the Republic of Belarus in the context of departmental subordination of implementing organizations, as well as the scientific problems being solved are provided as the result. A downward trend in the scientific and technical activities in the previous five years is shown and probable causes for its occurrence are formulated. The analysis of dissertation research shows the presence of an expert community in the field of road safety. In the authors' opinion, the number of qualifying scientific works and their problematics are clear signs of the formation of the "Road Safety" specialty. The formalization of this specialty could provide an additional impetus to the development in that area. The result of this work, directions for further research are proposed, which could be both a continuation of this work, and new ones, that meet current challenges of road safety, based on interagency cooperation.

ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС

УДК 622.243.24:621.644:621.131.34

П. В. КОВТУН, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, С. Г. ДРОБОВ, М. А. ШАМОВА, ООО «ФэтСит», г. Гомель

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНО НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ

Рассмотрены тенденции развития, примеры устройства подземных коммуникаций методом горизонтального направленного бурения, а также применение локационного оборудования. Предлагается шире использовать метод горизонтально направленного бурения в железнодорожном строительстве.

В последние годы в строительной отрасли стали широко применять закрытые способы прокладки коммуникаций. Это обусловлено рядом причин. В условиях городской застройки и при реконструкции действующих предприятий, где в значительных объемах размещены подземные сооружения (водопровод, канализация, водостоки, тепловые и кабельные сети) прокладка новых и замена старых подземных сетей открытым способом затруднена. Открытый способ прокладки коммуникаций под железнодорожными и трамвайными путями, водными преградами, городскими улицами с интенсивным движением транспорта практически невозможен. Кроме того, закрытый способ позволяет уменьшить объем земляных работ на 60–80 %, осуществлять строительство в зимних условиях без больших удорожаний, а также минимизировать расходы и ущерб окружающей среде. При закрытом способе возможна разработка грунта и прокладка коммуникаций с помощью щитовой проходки, продавливания, прокола и горизонтально направленного бурения (ГНБ) [1].

В Республике Беларусь сейчас насчитывается около 650 переходов через водные объекты, а именно магистральных трубопроводов. Поскольку наше государство имеет трансграничное расположение, то количество переходов будет увеличиваться. Это будет связано и с газопроводами, и с трубопроводами, и другими коммуникациями. И все это будет проходить через водные объекты. Если река небольшая, то при прокладке трубопровода может происходить подпор реки, изменение ее водообмена, что приводит к негативному влиянию на флору и фауну водной артерии и прибрежной территории. Все действующие трубопроводы были проложены 20–50 лет назад и, естественно, устарели. Они могут вызывать опасность прорыва, особенно нефтепродуктов. Кроме того, трубопроводы проходят и через болота, овраги, лесные массивы, дороги, по территории действующих предприятий. Таким образом, трубопроводы, проложенные с помощью горизонтально направленного бурения (ГНБ), являются прогрессивными конструкциями, особенно с позиции охраны окружающей среды.

Из зарубежного опыта [2] можно отметить ряд знаковых объектов. В штате Алабама при строительстве газопровода диаметром 254 мм наибольшие трудности возникли при пересечении реки Алабама, ширина которой на участке составляет 210 м, а

глубина – 12 м, высота же обоих берегов достигала от 6 до 9 м. Из-за бурного течения реки, вызывающего сильный размыв нарушенного донного грунта, производство земляных работ по устройству подводной траншеи считалось нежелательным и было принято решение о прокладке трубопровода методом горизонтального бурения. Весь технологический процесс строительства перехода длился две недели при ведении работ только в дневное время. Для сравнения нужно отметить, что для сооружения подводного перехода по традиционной траншейной схеме прокладки потребовалось бы около 10 недель при круглосуточном графике работ. Также стоимость земляных работ по заглублению трубопровода в траншею дна реки в три раза превысила бы расходы на выполнение буровых работ. И принципиально нужно отметить, что в данном случае в процессе строительства перехода с помощью технологии наклонного направленного бурения дно и берег реки не подвергались никаким неблагоприятным внешним воздействиям.

Сравнительные технико-экономические расчеты различных способов прокладки показали, что при строительстве методом направленного бурения вместо традиционных схем достигается экономия ресурсов примерно на 40 %. Результаты технико-экономического анализа, который проводился Всероссийским научно-исследовательским институтом строительства трубопроводов, подтверждают преимущества метода горизонтального направленного бурения. При этом объем земляных работ составляет всего 1,5 %. В целом применение метода горизонтального направленного бурения для сооружения трубопроводов позволяет существенно сократить как сроки строительства, так и объемы земляных работ. Кроме того, это создает предпосылки для круглогодичного строительства и не оказывает отрицательного воздействия на состояние водоема [2].

Преимущества способа ГНБ при строительстве подводных переходов:

- возможность прокладывать трубопроводы ниже прогнозируемых русловых деформаций, что надежно защищает трубопровод от любых механических повреждений (не менее 6,0 м от самой низкой отметки дна на участке перехода и не менее 3,0 м от линии возможного размыва или прогнозируемого дноуглубления русла);

- при строительстве и эксплуатации сохраняется естественный режим водной преграды, что соответствует повышенным экологическим требованиям и имеет

особое значение при пересечении трубопроводами рек с развитым рыболовством, судоходством;

- способ ГНБ исключает необходимость дноуглубительных, подводно-технических, водолазных и берегоукрепительных работ при строительстве переходов через водные препятствия, составляющих более 50 % стоимости перехода;

- исключается необходимость балластировки трубопроводов (балластных грузов и утяжеляющих покрытий);

- строительство переходов возможно в любое время года.

Протяженность участка перехода, сооружаемого способом ГНБ, определяется местоположением точек входа и выхода скважины. Допускается отклонение точки выхода пилотной скважины на дневную поверхность от проектного положения на 1 % от длины перехода, но не более +9,0 м или –3,0 м по оси скважины и $\pm 3,0$ м по нормали к ней. Местоположение точек входа и выхода скважины определяется требованиями к ее трассировке с учетом геологических и топографических условий, плановых деформаций русла, удобного размещения рабочих площадок.

Условиями, ограничивающими возможность применения способа ГНБ, являются неблагоприятные грунтовые условия – направленное бурение представляет значительную сложность в гравийных грунтах (гравия более 30 %), в грунтах типа плывунов, в грунтах с включениями валунов и булыжника. В таких случаях усложняется контроль при бурении пилотной скважины, возможен обвал грунта при расширении пилотной скважины и заклинивание рабочего трубопровода при его протаскивании.

Процесс выполнения работ по бестраншейной прокладке трубопроводов методом горизонтального направленного бурения с применением установки ГНБ подразделяется на три основных этапа [3]:

- пилотное бурение;

- расширение скважины до необходимого диаметра с одновременным наращиванием и демонтажем буровых штанг и бурового оборудования;

- протаскивание плети трубопровода с одновременным демонтажем штанг и последующим демонтажем бурового оборудования.

Для осуществления пилотного бурения выполняется следующий комплекс работ:

- подготовка оборудования (смазка, затягивание соединений, сборка буровой головки и закрепление ее на первой штанге, проверка сопел, разработка пилотного отверстия, калибровка локационного оборудования);

- непосредственно выполнение пилотного бурения (бурение, добавление секций (штанг) буровой колонны, руление, завершение пилотного бурения).

Перед забуриванием скважины лафет буровой установки с вращателем и зажимным устройством ориентируется в нужном направлении (позиционирование установки), на первой штанге крепится буровая головка, оснащенная передатчиком, выполняется калибровка локационного оборудования, пробный запуск установки с подачей бурового раствора в буро-

вую колонну и через сопла буровой головки. Общий вид буровой головки приведен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Общий вид буровой головки

Вид и конструкция буровой головки подбирается в зависимости от геологических условий, в которых будет выполняться бестраншейная прокладка трубопровода.

После завершения всех работ по подготовке оборудования приступают непосредственно к пилотному бурению скважины. Бурение пилотной скважины ведется ориентированным способом. В процессе наращивания буровых штанг проводится контроль траектории ствола скважины. Траектория пилотной скважины отслеживается при помощи локационного оборудования. С помощью локационного оборудования определяется расстояние и глубина местонахождения буровой головки по отношению к заданной траектории.

Полученные результаты сравниваются с заданными величинами траектории пилотной скважины и, в случае необходимости, выполняется соответствующая корректировка движения буровой головки путем ее поворота (руление). При этом вращательное движение буровой колонны прекращается, а перемещение буровой головки в скважине осуществляется путем задавливания буровой колонны. При достижении необходимой отметки вращательное движение буровой колонны возобновляется. При необходимости возможен обратный ход штанг, демонтаж буровой колонны с последующим продолжением работ.

В соответствии с технологическими особенностями работы буровой установки для выхода буровой головки на заданную отметку бурения горизонтальной скважины процесс пилотного бурения в начальной точке забуривания осуществляется под углом 10–20° к траектории скважины горизонтального бурения с выполнением «технологического хода», величина которого зависит от проектных координат расположения горизонтальной скважины. После окончания работ по пилотному бурению в зависимости от диаметра прокладываемого трубопровода выполняется одно, два или несколько расширений горизонтальной скважины. При необходимости выполнения повторного расширения горизонтальной скважины цикл работ повторяется с применением риммер-расширителя соответствующего диаметра.

Необходимо отметить, что диаметр формируемой скважины должен быть на 20–50 % больше диаметра затягиваемого (протаскиваемого) трубопровода (исходя

из условий нормальной циркуляции бурового раствора и должного вымывания разбуриваемой породы). Вид и конструкция ример-расширителя подбираются в зависимости от геологических условий, в которых выполняется бестраншейная прокладка трубопровода, и определяются условиями прохождения скважины в наиболее неблагоприятных грунтах.

Общий вид ример-расширителей приведен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Общий вид ример-расширителей

Наиболее вероятными осложнениями при бурении скважины являются обвалы стенок скважины и интенсивное поглощение бурового раствора при проходке песчаных или других слабоцементированных высокопроницаемых грунтов [3]. В этом случае изменяются значения скорости проходки и подачи промывочной жидкости с целью обеспечения максимально возможного выноса выбуренной породы. После того, как пробурена очередная буровая штанга, интервал последнего долбления прорабатывается вращением и дополнительной промывкой. Данная технологическая операция позволяет разрушать образующиеся при ориентированном бурении скопления шлама, отнесенные к зонам застоя.

Основные мероприятия по предотвращению и ликвидации осложнений следующие:

- проведение специальных технологических операций для формирования качественного ствола скважины;
- применение специальных реагентов для придания промывочной жидкости специальных свойств.

Возможные аварийные ситуации при бурении скважины:

- увеличение толкающих усилий и «прихват» буровой колонны при бурении пилотной скважины;
- заклинивание расширителя в процессе расширения скважины;
- увеличение тяговых усилий выше расчетных и допустимых при протаскивании трубопровода в скважину.

Мероприятия по освобождению бурового инструмента (главным образом расширителей) от заклинивания определяются в зависимости от конкретной возникшей ситуации.

Обрыв штанги во время расширения скважины ликвидируется при помощи обсадной трубы, ловильного инструмента и захватывающего устройства. В случае неудачного применения данной технологии и при условии нахождения места обрыва штанги на относительно небольшой глубине (до 3–4 м) и небольшого расстояния от точек входа и выхода скважины (20–30 м) возможно применение способа разработки котлована над местом обрыва для непосредственного соединения двух частей буровой колонны или инструмента.

В случае невозможности продолжения бурения пилотной скважины по проектному профилю (отдельно

встречающиеся валуны, аномалии) пространственное положение оси скважины может быть изменено. Незначительное исправление ведется в обход препятствия без извлечения буровой колонны. Также возможно произвести заново бурение в новом створе, но при обязательном согласовании с проектным институтом.

Одной из основных проблем, возникающих при бурении скважин большого диаметра, является изменение пространственных размеров ствола. Причины нарушения геометрии скважин могут быть разными и они такие же, как и при бурении глубоких скважин на нефть и газ, но усугублены диаметром разрабатываемой скважины. При нарушениях геометрии скважины меняется эффективное проходное сечение скважины, что приводит к силовому взаимодействию между протаскиваемым трубопроводом и стенками скважины, сопровождающееся увеличением тяговых усилий, нарушению изоляции трубопровода, а в некоторых случаях к аварийным ситуациям с заклиниванием джокера.

Например, подобное техническое осложнение возникло при строительстве подводного перехода через р. Белая, выполненного в 2017 году с применением технологии цементации гравелистых грунтов. Цементирование гравелистых грунтов проводилось с применением технологии струйной цементации. Произведено 4 попытки протаскивания джокера в скважину. Каждая попытка сопровождалась повышением тяговых усилий. После извлечения джокера зафиксированы повреждения изоляции джокера по окружности трубы по направлению протаскивания, свидетельствующие о нарушенной геометрии ствола скважины (рисунок 3).



Рисунок 3 – Нарушение изоляции трубопровода при нарушенной геометрии ствола скважины

В строительстве переходов возникали и аварийные ситуации, связанные с неоднородностью геологического разреза. Так, в 2002 году при строительстве перехода магистрального нефтепровода Сургут – Полоцк через реку Оку на этапе расширения происходили заклинивания и затяжки расширителей, сопровождавшиеся сломом бурового инструмента. Геологический разрез перехода через р. Оку представлен чередованием суглинков, супесей, глин, песка, ангидритов, гипсов и доломитов различной твердости (из менее прочных грунтов в более прочные).

При наличии на участке траектории ствола скважины литологической или геологической границы перехода из мягкой породы (глины, песка, гравелистые грунты) в твердые грунты (известняки, аргиллиты) расширитель, двигаясь в разбуренной до промежуточного диаметра скважине, соприкасается с твердой породой в точке контакта расширителя с литологической границей и начинает скользить по границе с

твердыми грунтами. Даже при наличии правильно подобранного вооружения и конструкции породоразрушающего инструмента увеличение тягово-толкающих усилий приводит к скольжению расширителя по границе геологических разностей, сопровождаемому увеличением крутящего момента во время прижимания компоновки рабочих элементов бурильной колонны к своду скважины вследствие возрастания сил трения и реакции от твердой поверхности.

При выходе расширителя из твердых пород в мягкие в верхней точке соприкосновения расширителя с литологической границей образуется уступ.

В конечном итоге расширенная скважина на участке прохождения литологической границы выглядит так, как показано на рисунке 4. Расширенная скважина осложняется 2 уступами.

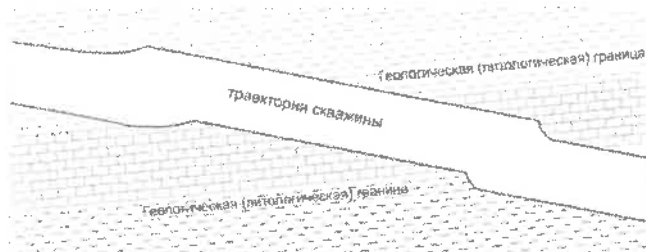


Рисунок 4 – Траектория расширенной скважины на границе изменения литологии пород по оси скважины

Условием, при котором траектория скважины не будет отклоняться от заданного проектного направления, является параллельность общего вектора действующих на расширитель сил с осью скважины.

На сегодняшний день правила проведения инженерно-геологических изысканий не нормируют требования по определению элементов залегания литологических границ. Мероприятия по освобождению бурового инструмента (главным образом расширителей) от заклинивания определяются в зависимости от конкретной возникшей ситуации.

При возникновении опасности обрушения береговых участков расширенной скважины непосредственно вблизи точек входа-выхода производится отрывка приямков (котлованов) по створу скважины на длину возможного обрушения.

Решение замены одного типа бурового инструмента на другой принимается на месте в зависимости от возникающих проблем с разработкой грунтовой породы.

Увеличение тяговых усилий в процессе протаскивания трубопровода может быть вызвано ростом местных сопротивлений, причиной которых являются:

- неточная высота подъема трубопровода на входе в скважину, вследствие чего изменяется угол входа трубопровода и увеличивается трение поверхности трубы о стенку скважины на начальном участке протаскивания;
- плохо подготовленная к протаскиванию скважина, а именно недостаточное расширение, заиливание, плохая промывка разбуренной породы;
- заклинивание трубопровода в результате обрушения стенок скважины.

Плохое качество промывки скважины и большое усилие при протаскивании последнего расширителя

являются предпосылкой для прохода дополнительного расширителя. Для увеличения тяговой способности буровой установки в аварийных ситуациях может применяться вспомогательная техника.

Специфика прокладки трубопроводов методом горизонтально направленного бурения – перемещение расширителя на каждом этапе по всей длине скважины – создает определенные технические риски, при осложнениях серьезную проблему создает недостаток достоверной информации о ранее проложенных коммуникациях. В плане не всегда отражается либо ошибочно указывается расположение действующих инженерных сетей и остатков старых линий. В процессе ГНБ на трассе может оказаться объект значительно тверже остального грунта. Проблема решается бурением насквозь бурами высокой прочности, сдвигом объекта в сторону при пилотном бурении или изменением трассы трубопровода [3, 4].

Одной из основных проблем при работе в сфере ГНБ является интерференция (помехи). Блокируя передачу данных, она не дает полноценно отслеживать буровую головку под землей и снижает точность показаний. Способность локационной системы хорошо работать в условиях сильных помех стала критическим фактором в эффективности и способности выполнить работу в установленные сроки.

Вид комплекта локационного оборудования показан на рисунке 5, а принцип измерения дистанции, заложенный в основу любой современной локационной системы, – на рисунке 6.



Рисунок 5 – Вид комплекта локационного оборудования

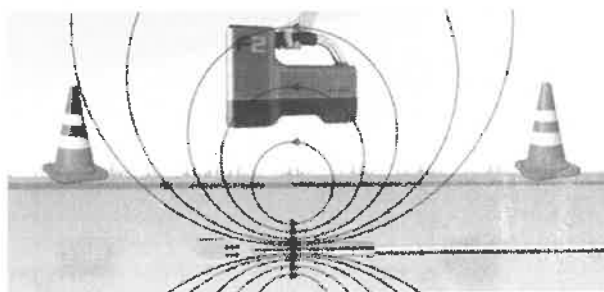


Рисунок 6 – Принцип измерения дистанции

Вычисление расстояния происходит путем измерения напряжения на вторичной обмотке «пространственного трансформатора», первичной обмоткой возбуждения которого является ферритовая антенна, размещаемая в зонде.

Таким образом, технология горизонтального направленного бурения может быть применена при обустройстве любых коммуникационных магистралей, в т.ч. и в случае необходимости прокладки трассы под железнодорожными путями.

Наличие литологических границ на пути траектории скважины является одним из факторов, приводящих к нарушению пространственных размеров геометрии ее ствола и осложнению для протаскивания дюкера. Знание механизма образования уступов поможет при конструировании геометрических размеров расширителей, расположении породоразрушающих элементов на их корпусе, а также в подборе элементов компоновки буровой колонны, что обеспечит ее жесткость при прохождении литологических границ.

Понимание физических процессов, происходящих при прохождении буровым инструментом литологических границ, имеет практическое значение для операторов буровой установки для прогнозирования и предотвращения заклиниваний бурового инструмента, контроля траектории ствола скважины, а также при подборе режимов бурения и расширения скважины для протаскивания трубопровода.

Для предотвращения подобных технических проблем необходимо изучать условия и особенности работы бурового инструмента в строительстве горизонтальных скважин большого диаметра при пересечении железнодорожных земляных сооружений.

Список литературы

- 1 Дробов, С. Г. Влияние подземного горизонтального направленного бурения на окружающую среду / С. Г. Дробов, М. А. Шамова // Инновационное развитие транспортного и строительного комплексов : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию БелИИЖТа – БелГУТа, 16–17 нояб. 2023 г., г. Гомель : в 2 ч. / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп.; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель, 2023. – Ч. 1. – С. 383–385.
- 2 Бестраншейное строительство методом горизонтального направленного бурения // Строительство и недвижимость. – Минск, 2005. – URL : <https://nestor.minsk.by/sn/2005/27/sn52709.html> (дата обращения: 12.10.2023).
- 3 Курицын, К. Р. ТК-1000294434.003-2015. Технологическая карта на бестраншейную прокладку трубопроводов диаметрами 100–900 мм методом горизонтального направленного бурения с применением бурильной установки Ditch Witch JT Ditch Witch JT3020 / К. Р. Курицын, Н. И. Паршина. – Минск : ОРГСТРОЙ, 2015. – 129 с.
- 4 Храменков, С. В. Технологии восстановления подземных трубопроводов бестраншейными методами : учеб. пособ. для студ. вузов / С. В. Храменков, В. А. Орлов, В. А. Харькин. – М. : Изд-во Ассоц. строит. вузов, 2004. – 237 с.
- 5 Дробов, С. Г. Анализ мировых тенденций возведения подземных сооружений методом горизонтально-направленного бурения / С. Г. Дробов, М. А. Шамова, П. В. Ковтун // Горная механика и машиностроение. – 2024. – № 1. – С. 27–34.
- 6 Технология бестраншейной прокладки трубопроводов методом горизонтального направленного бурения / С. Г. Дробов, М. А. Шамова, П. В. Ковтун, О. В. Осипова // Горная механика и машиностроение. – 2024. – № 2. – С. 20–29.

Получено 05.05.2025

P. V. Kovtun, S. G. Drobov, M. A. Shamova. Experience in the application of horizontal directional drilling.

The article discusses the development trends, examples of underground utilities by horizontal directional drilling, as well as the use of locating equipment. It is suggested to use the method of horizontal directional drilling in railway construction more widely.

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ

УДК 629.463.3

А. В. ПИГУНОВ, кандидат технических наук., В. В. ПИГУНОВ, кандидат технических наук, М. А. КАЛАШНИКОВ, магистрант, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОСОБЕННОСТИ КРЕПЛЕНИЯ СМЕННЫХ КУЗОВОВ ПОЛУВАГОНОВ НА ПЛАТФОРМАХ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ КОНТЕЙНЕРОВ

Проведен анализ крепления на платформах сменных и съемных кузовов зарубежных производителей железнодорожного подвижного состава. Произведена оценка прочности фитингового упора, установленного на платформах для перевозки контейнеров эксплуатационного парка. Представлена разработанная конструкция сменного кузова полувагона. Разработана, с учетом зарубежного опыта, схема крепления кузова на раме платформы при помощи фитинговых упоров и дополнительных предохранительных элементов, предусмотренных конструкцией сменного кузова.

Применение съемных и сменных кузовов позволяет существенно повысить эффективность использования вагонов путем адаптации к перевозкам того или иного груза в зависимости от сезонных потребностей.

Съемный кузов представляет собой конструкцию, которая предназначена для размещения и перевозки того или иного груза, а его несущая способность позволяет поднимать его в грузе состоянии и штабелировать в несколько ярусов. Может устанавливаться на специализированные платформы для перевозки контейнеров на штатные фитинговые упоры.

Сменный кузов предназначен для установки на платформу-носитель с целью перепрофилирования вагона для перевозки востребованного в данном временном интервале груза и не подлежит подъему в грузе состоянии.

Существует мнение, что сменный кузов должен быть спроектирован совместно с платформой, на которой он будет перевозиться, и эксплуатироваться с другими платформами не сможет.

Сменный кузов, который может быть установлен на серийную платформу, будет более универсальным и востребованным. В этом случае возникает проблема надежного его закрепления на раме платформы.

Многие производители выпускают платформы для перевозки контейнеров максимально схожие по конструкции с универсальными платформами. У них отсутствует настил пола и имеется набор стационарных по углам и откидных фитинговых упоров. Примером может служить модель 13-2166 производства АО «Алтайвагон» [1].

Европейские производители имеют большой опыт разработки конструкций съемных и сменных кузовов и их эксплуатации. Бельгийский концерн *Van Hool* и *BASF* совместно разработали новые типы контейнеро-цистерн для железнодорожного транспорта. Контейнеро-цистерны имеют длину 45 футов (13,7 м при объеме 53 м³ или 63 м³) и 52 фута (15,8 м при объеме 73,5 м³) грузоподъемностью от 66 до 67 т. Всего разработано шесть типов контейнеров с различной схемой окраски для лучшей идентификации (рисунок 1) [2].

Контейнеры оснащены концевыми вертикальными прямоугольными усиленными рамами, в углах которых

установлены фитинги повышенной прочности. Дополнительно котел усилен кольцевыми шпангоутами.

Большой модельный ряд съемных кузовов разработала и успешно поставляет клиентам из многих европейских стран австрийская компания *Innofreight*. Она предлагает съемные кузова с погрузочной длиной 11, 13, 20, 25, 30 и 40 футов для перевозки широкой номенклатуры грузов, таких как кислоты, сыпучие грузы с широким диапазоном плотностей, трубы, лес, рулонную сталь, сельхозпродукцию и многие другие.



Рисунок 1 – Танк-контейнеры В-ТС на платформе *Wascosa*

Для жидких грузов разработаны съемные кузова типа «цистерна» (рисунок 2). Кузов *SlurryTainer* предназначен под загрузку и перевозку сырья для полиграфической промышленности. Длина кузова составляет 30 футов. В консольных частях располагаются две полурамы, которые совместно с котлом образуют цельнонесущую конструкцию. Каркас полурамы выполнен из труб прямоугольного сечения. Он состоит из вертикального шестиугольного контура, на стойках которого в верхней части расположены два фитинга. В нижней части вертикальная рама связана с горизонтальной П-образной рамой. На нижних продольных горизонтальных балках предусмотрены четыре опорных места для установки на контейнерные упоры платформы. Котел имеет переменное сечение. В середине оно максимальное и уменьшается к консолям, таким образом, что образует значительный уклон его нижней части к месту слива. Дополнительно котел связан с горизонтальными продольными балками полурам при помощи четырех наклонных скругленных опорных элементов замкнутого коробчатого сечения.

а)



б)

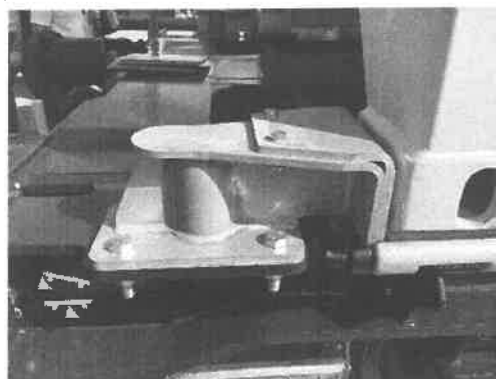


Рисунок 2 – Кузова типа «цистерна» *SlurryTaine*:
а – общий вид; б – крепление на платформе

Анализ крепления съемных и сменных кузовов на платформах зарубежных производителей позволяет сделать вывод, что съемные кузова крепятся как типовые контейнеры при помощи четырех фитингов и упоров, а сменные – фиксируются при помощи 8 фитинговых упоров с применением дополнительных ограничителей продольных перемещений, которые упираются в торец угловых фитингов и при помощи болтов крепятся к боковым балкам рамы платформы. Также возможна фиксация при помощи четырех контейнерных упоров и фитингов при условии их повышенной прочности по сравнению с применяемыми для крепления контейнеров.

Разработанная конструкция сменного кузова полувагона характеризуется следующими основными технико-экономическими параметрами: грузоподъемность – 64 т, масса тары – 9 т, внутренний объем кузова – 85 м³. Металлоконструкция кузова выполнена из стали 09Г2С с пределом текучести 345 МПа и включает раму с настилом пола, две торцевые и две боковые стены (рисунок 3).

При разработке конструкции кузова предполагалось для минимизации затрат при налаживании серийного производства применение типовых элементов существующих конструкций полувагонов, хорошо зарекомендовавших себя в эксплуатации [3].

Боковые стены кузова выполнены из металлической гофрированной обшивки с трапециевидными гофрами, подкрепленной каркасом. Толщина нижнего листа составляет 4 мм, а верхнего – 3,6 мм. В состав каркаса боковой стены входят шесть промежуточных и две угловые стойки, верхняя и нижняя обвязки. Промежуточные стойки, как у типовой конструкции, выполнены из Ω -образного профиля (ГОСТ 5267.6–90), а угловые – из гладкого металлического листа толщиной 8 мм. Верхняя обвязка в поперечном сечении представляет замкнутый сварной прямоугольный про-

филь с размерами 140×100×7 мм. Нижняя обвязка из уголка – 160×100×10 мм.

В случае крепления сменного кузова полувагона на платформе при помощи фитинговых упоров, нагрузка, действующая на них, определяется в соответствии с требованиями ГОСТа [4] по формуле

$$N_{\text{и}} = N_y \frac{m_{\text{к}}}{m_{\text{ваг}}}, \quad (1)$$

где N_y – максимальная продольная сила удара, приложенная к вагону, $N_y = 3,5$ МН; $m_{\text{к}}$ – масса сменного кузова брутто, $m_{\text{к}} = 73$ т; $m_{\text{ваг}}$ – масса вагона брутто, $m_{\text{ваг}} = 94$ т.

Расчет показал, что численное значение силы, приходящейся на все упоры, составляет 2718 кН. При условии закрепления кузова четырьмя фитингами продольная сила распределится между ними. Поэтому сила, приходящаяся на один упор, уменьшится в четыре раза и составит $P_x = 680$ кН, а в случае распределения между восьмью – $P_x = 340$ кН.

Фитинговые упоры изначально рассчитывались на крепление крупнотоннажных контейнеров с массой брутто 30,48 т [5]. При этом оценка прочности упоров в соответствии с требованиями норм [6] для вагонов эксплуатационного парка производилась при действии продольной силы $P_x = 300$ кН. В настоящее время перевозятся контейнеры с массой брутто 36 т, а в некоторых случаях и 42 т [7].

Для оценки прочности фитингового упора была разработана конечноэлементная модель. К упору прикладывалась продольная нагрузка в 300 кН. Допускаемые напряжения принимались равными пределу текучести и составили 345 МПа для стали 09Г2С. Расчет показал, что уровень расчетных напряжений в зоне взаимодействия с фитингом составил 98 % от допускаемых, что указывает на отсутствие резерва в повышении нагрузки на упор (рисунок 4).

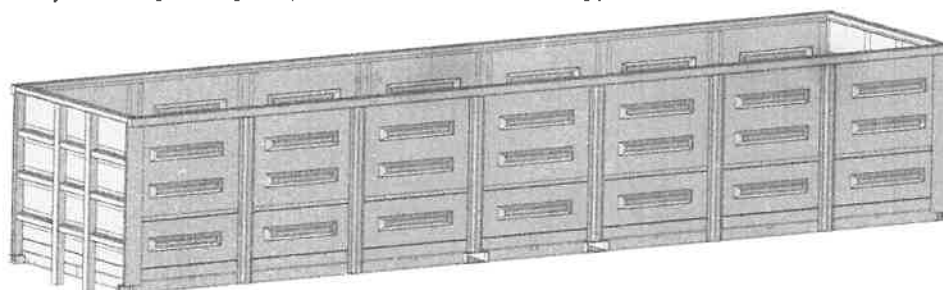


Рисунок 3 – Общий вид сменного кузова полувагона

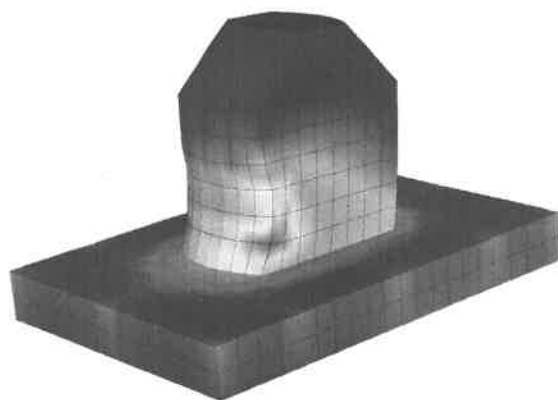


Рисунок 4 – Наряжено-деформированное состояние фитингового упора

Рама спроектированного кузова (рисунок 5) состоит из продольной средней балки 1, двух боковых продольных 2 и набора поперечных балок: двух концевых 3, восьми основных 4 и трех вспомогательных поперечных балок 5. В середине предусмотрена установка двух балок замкнутого коробчатого сечения 6, которые выполняют роль карманов для подъема кузова вилочным погрузчиком. Для их установки предусмотрены вырезы в боковых и средней продольных балках. Они связывают продольную среднюю балку с боковыми в единую рамную конструкцию. Между концевыми и следующими за ними четырьмя основными поперечными балками предусмотрена установка отрезков продольных балок 7 с отверстиями под угловые стационарные и следующие за ними откидные фитинговые упоры, предназначенные для крепления стандартных контейнеров. Таким образом мы получаем необходимые восемь точек крепления и опирания на контейнерные упоры сменного кузова.

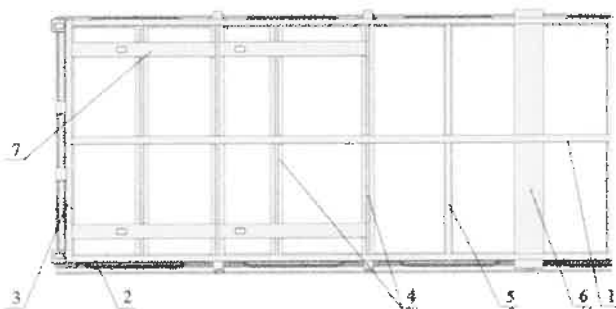


Рисунок 5 – Рама сменного кузова полувагона (вид снизу)

Торцевая стена кузова в свой состав включает гладкую металлическую обшивку, подкрепленную каркасом (рисунок 6). К элементам каркаса относятся: верхняя обвязка 1 из прямоугольного замкнутого профиля, девять укороченных горизонтальных балок 2 из омегаобразного профиля, образующих три горизонтальных пояса, нижняя обвязка 3 из прокатного уголка, две угловые стойки 4 из швеллера № 14 и две средние стойки из гнутых швеллеров 5. Средние стойки выступают за нижнюю часть рамы на 150 мм и в этой части имеют замкнутое усиленное сечение. Они должны воспринимать часть продольной нагрузки, приходящейся на контейнерные упоры, и выполнять предохранительную функцию.

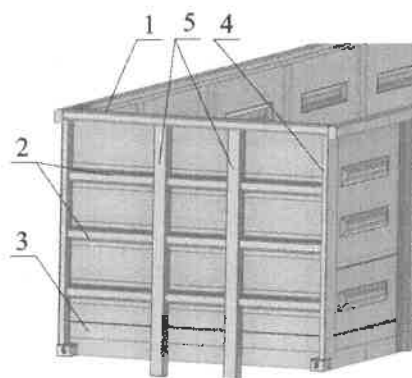


Рисунок 6 – Торцевая стена

Линейные размеры спроектированного кузова больше рамы платформы (13,76 и 13,4 м соответственно). Это позволяет максимально эффективно использовать габаритные размеры кузова. Как было сказано выше, в углах торцевой стены располагаются фитинги, которые применяются для подъема кузова, а в отрезках продольных балок предусмотрены отверстия с усиливающими пластинами, при помощи которых должен крепиться к раме платформы съемный кузов.

Выводы.

1 Сменные кузова позволяют оперативно перепрофилировать вагон-платформу в востребованный в данный период времени тип грузового вагона. Это позволяет оперативно реагировать на потребности рынка в вагонах нужного типа. Разработанная конструкция съемного кузова полувагона конструктивно выполнена из типовых элементов, которые применяются в конструкциях полувагонов эксплуатационного парка. Она незначительно уступает по объему и грузоподъемности цельнометаллическому аналогу. При этом основная проблема заключается в его креплении на раме платформы.

2 Европейский опыт проектирования и эксплуатации съемных и сменных кузовов показывает, что кузова, имеющие значительно большую грузоподъемность по сравнению с контейнерами крепятся и перевозятся на специализированных платформах-носителях, в конструкциях которых предусмотрены места установки дополнительных упорных элементов (дополнительно к контейнерным упорам) или применение фитинговых упоров из высокопрочной стали. Кузова увеличенной грузоподъемности как правило фиксируются восьмью упорами вместо четырех как у контейнера.

3 Фитинговые упоры, применяемые на платформах эксплуатационного парка, в основной массе проектировались с учетом требований «Норм...», что предполагало оценку прочности при действии на него продольной нагрузки 300 кН. Прочностной расчет упора, выполненный при действии указанной нагрузки, показал, что запаса прочности для увеличения продольной нагрузки нет при применении стали с пределом текучести 345 МПа. Продольная нагрузка, приходящаяся на один упор из четырех, определенная с учетом требований [4], составила 680 кН, а при условии крепления при помощи восьми – 340 кН. Это показывает, что нужно предусмотреть дополнительные упоры, которые будут воспринимать продольные усилия наряду с фитинговыми упорами платформы.

4 Для дополнительной фиксации в продольном направлении сменного кузова полувагона предлагается применить в конструкции удлиненные на 150 мм вниз средние вертикальные стойки торцевой стены. В выступающей части они сварные замкнутого коробчатого сечения. Предварительные расчеты показывают, что при толщине гнутого швеллера 8 мм и приваренного к нему листа, на который непосредственно воздействует продольная нагрузка – 10 мм, две стойки способны выдерживать усилие в 442 кН без пластического деформирования.

Список литературы

1 Вагон-платформа для перевозки контейнеров. Модель 13-2166. Руководство по эксплуатации 2166.00.000 РЭ. – Новоалтайск : Алтайвагон, 2023. – 61 с.

2 Пигунов, А. В. Европейские разработки в области реализации концепции применения съёмных кузовов / А. В. Пи-

гунов, В. В. Пигунов, П. А. Дашук // Механика. Исследования и инновации. – 2021. – Вып. 14. – С. 183–189.

3 Пигунов, В. В. Конструкция, теория и расчет вагонов : учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 2 / В. В. Пигунов, А.В. Пигунов. – Гомель : БелГУТ, 2021. – 466 с.

4 ГОСТ 33211–2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. – Введ. 2016–07–01. – М. : Стандартинформ, 2016. – 54 с.

5 ГОСТ Р 53350–2009. Контейнеры грузовые серии 1. Классификация, размеры и масса. – М. : Стандартинформ, 2009. – 20 с.

6 Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М. : ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 317 с.

7 Додонов, А. В. Разработка методики испытаний фитинговых упоров для вагонов-платформ / А. В. Додонов, А. Е. Афанасьев, В. А. Башмаков // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2018. – № 1 (37). – С. 40–50.

Получено 25.04.2025

A. V. Pihunou, V. V. Pihunou, M. A. Kalashnikov. Fastening of swap bodies of gondolla cars on platforms for container transportation.

An analysis of fastening of swap and detachable bodies of foreign manufacturers of railway rolling stock on platforms was carried out. An assessment of the strength of the fitting stop installed on platforms for the transportation of containers of the operational fleet was made. The developed design of the swap body of the gondola car is presented. Taking into account foreign experience, a scheme for fastening the body on the platform frame using fitting stops and additional safety elements provided for by the design of the swap body was developed.

УДК 625.1:656.2

В. В. БУРЧЕНКОВ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, А. В. КОЛЕНЧИКОВ, П. А. КРОТ, Белорусская железная дорога, г. Минск

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРЕДИКТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ТЕПЛОВЗОВ

Рассмотрены принципы аналитического построения информационно-измерительных систем и разработана технология предиктивной диагностики и прогнозирования технического состояния ответственных механизмов и устройств энергетической цепи тепловозов. Оценка остаточного ресурса работоспособности выполнена на основе многофакторных диагностических критериев. Исследованы деградационные процессы в ответственных механизмах и устройствах тепловозов в процессе эксплуатации.

Интенсивное развитие комплексов автоматического дистанционного управления движением поездов и увеличение зон действия систем диспетчерской централизации сокращают возможности визуального наблюдения за техническим состоянием ходовой части подвижного состава в пути следования.

Стратегией развития Белорусской железной дороги до 2030 года в качестве одного из ключевых элементов повышения эффективности работы выделена необходимость цифровизации систем управления и диагностики локомотивов для совершенствования безопасности перевозочного процесса. Анализ материалов, определяющих перспективные направления развития предиктивной диагностики подвижного состава, показал, что при прочих равных условиях ключевой тенденцией является создание безлюдной технологии ранней идентификации неисправностей ответственных деталей и узлов подвижных единиц.

В настоящее время в области эксплуатации и ремонта локомотивов Белорусской железной дороги на уровне производственных участков сложилась ситуация, связанная с несвоевременностью получения достоверной информации о техническом состоянии, прогнозируемых неисправностях и остаточном ресурсе ответственных механизмов и составных частей тепловозов при их постановке на плановое техническое обслуживание и ремонт. Это объясняется тем, что основным средством для обеспечения безопасности движения поездов являются локальные локомотивные диагностические устройства [2].

Как правило, новые системы диагностики не решали задачи прогнозирования возможного технического состояния контролируемых устройств в будущем. В связи с вышесказанным особое значение приобретает многофакторный сбор информации о техническом состоянии подвижного состава, дефекты которого в последующие периоды эксплуатации могут привести к отказам локомотивных систем управления и диагностики, изломам узлов и деталей ходовой части.

Основная цель предиктивной диагностики заключается в сборе и обработке данных о техническом состоянии подвижного состава на ранней стадии развития дефектов, а также прогнозировании выхода из строя критически важных узлов. К критичному оборудованию тепловозов отнесены: дизель-генераторная установка, элек-

троборудование силовых и вспомогательных цепей; узлы экипажной части и механическое оборудование; тяговые электродвигатели; тормозное и пневматическое оборудование; электронное оборудование.

Оценка работоспособности ответственных механизмов и устройств на ранней стадии развития дефектов, а также в будущем, может осуществляться по нескольким известным алгоритмам, основные из которых – алгоритмы экстраполяции и статистической классификации [3, 4].

При использовании алгоритмов экстраполяции состояние контролируемых устройств может быть представлено в виде многомерной векторной функции

$$F = Q(X, t),$$

где $\bar{X}(t_0) = \{x_1(t), \dots, x_i(t), \dots, x_n(t)\}$ – дискретная или непрерывная функция в период времени $(t_0, \dots, t_n)$ известной области $T_{изв}$.

В этом случае можно определить значения функции

$$\bar{X}(t_0) = \{x_1(t), \dots, x_i(t), \dots, x_n(t)\}$$

$$\bar{X}(t_0), \bar{X}(t_1), \dots, \bar{X}(t_i), \dots, \bar{X}(t_n)$$

соответственно, в моменты времени $t_0, t_1, \dots, t_i, \dots, t_n$.

Затем с помощью модели прогнозирования $W(\bar{X}, t)$ по известным значениям $(\bar{X}, t_i)$ определяют значения функции $\bar{X}(t_{n+1}), \dots, \bar{X}(t_{n+j}), \dots, \bar{X}(t_{n+m})$ в будущие моменты времени $t_{n+1}, \dots, t_{n+j}, \dots, t_{n+m}$.

Приведенная модель прогнозирования иллюстрируется представленными на рисунке 1 статистическими характеристиками:

- интервалов времени штатной эксплуатации устройств;
- периодов времени предотказного состояния диагностируемых устройств;
- моментов времени отказа устройств;
- состояния контролируемых устройств в будущие периоды эксплуатации устройств.

Оценка состояния диагностируемых устройств в будущие периоды времени по заранее известному критерию опасности Q позволяет определить категорию возможного отказа – опасный или неопасный, а затем наметить своевременные мероприятия для его исключения.

Затем, используя модель прогнозирования $W(\bar{X}, t_0)$, по совокупности параметров $\{x_s\}$, $s = \overline{1, E}$ и координат вектора $\bar{X}(t_0)$, определяют, в каком из известных заранее классе состояний S находится система в данный момент времени: $S_1, S_2, \dots, S_m, S_k$. Путем их анализа в любой момент времени определяется предотказное состояние и время его возможного возникновения. При этом не представляет особой сложности и определение момента времени возникновения отказа t_n и его категории [5].

По характеру протекания процессов деградации их можно разделить на две группы. К первой относятся процессы, вызывающие внезапное или катастрофическое изменение технического состояния устройств и систем вследствие резкого изменения физических параметров. В результате наступает неисправность или отказ устройств по причине резкого скачкообразного изменения их характеристик за пределы допустимых; ко второй – процессы, приводящие к постепенному изменению физических параметров устройств и систем.

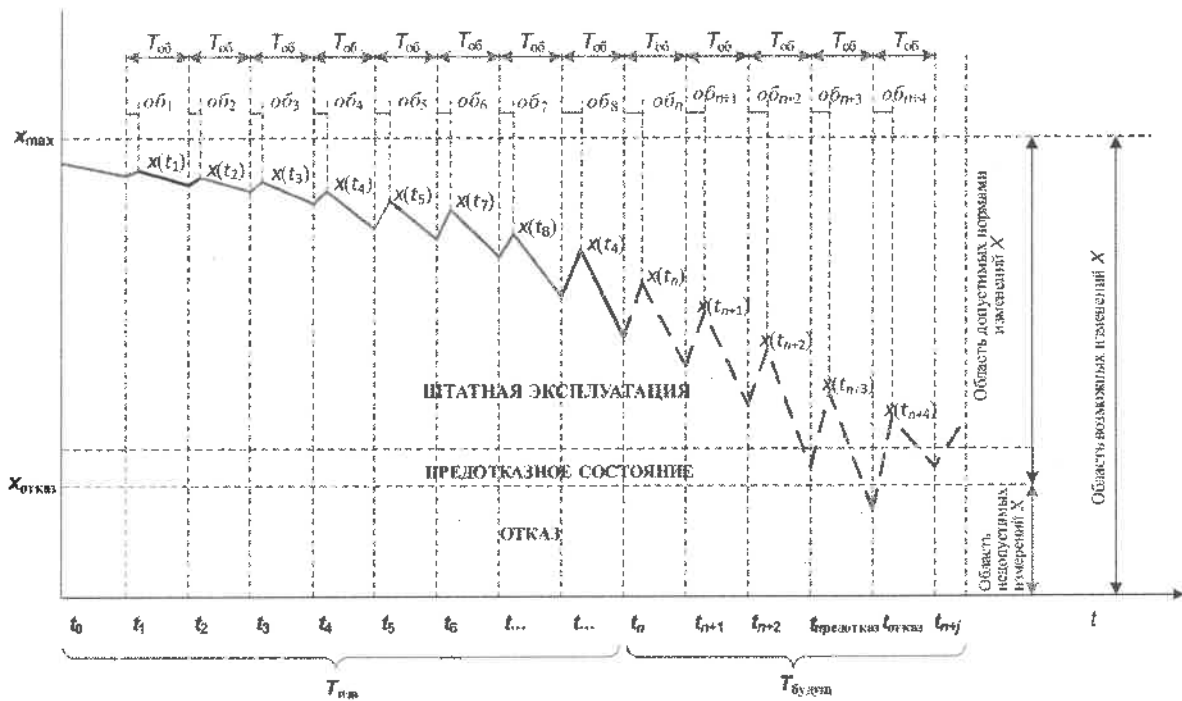


Рисунок 1 – Зависимость многомерной функции состояний контролируемых устройств и систем от прошлого и будущего периодов эксплуатации

Постепенные деградационные процессы параметров устройств с течением времени накапливаются и приводят к потере их работоспособности. В общем случае процесс изменения состояния устройств и систем диагностики локомотивов можно представить в виде модели детерминированных изменений

$$\bar{X}(t) = \bar{\xi}(t) + \bar{\eta}(t) + \bar{\varepsilon}(t),$$

где $\bar{\xi}(t) + \bar{\eta}(t)$ – векторные составляющие, характеризующие соответственно необратимые и обратимые процессы; $\bar{\varepsilon}(t)$ – векторная погрешность измерительных цепей.

Составляющая $\bar{\xi}(t)$ определяет закономерность изменения процесса и в большей мере детерминированную его часть, а $\bar{\xi}(t)$ и $\bar{\eta}(t)$ характеризуют его стохастическую часть. Последние составляющие в большинстве случаев имеют «сезонные» колебания. Для предиктивного диагностирования допустимо объединение составляющих $\bar{\xi}(t)$ и $\bar{\eta}(t)$:

$$\bar{\xi}(t) + \bar{\eta}(t) = \bar{k}(t).$$

Тогда процесс состояния устройств и систем можно представить в виде

$$\bar{X}(t) = \bar{k}(t) + \bar{\varepsilon}(t).$$

Процессом постепенного изменения технического состояния устройств и систем можно в общем случае считать процесс, у которого выполняется условие

$$\|\xi(t + \Delta t) - \xi(t)\| \gg \|k(t + \Delta t) - k(t)\|,$$

где $\|\xi(t + \Delta t) - \xi(t)\|$, $\|k(t + \Delta t) - k(t)\|$ – норма вектора; $\Delta t > 0$ – период времени.

Очевидно, что чем больше указанное неравенство, тем ближе процесс изменения $\bar{X}(t)$ приближается к детерминированному, характеризующему постепенно возрастающие деградационные процессы.

Многомерный детерминированный процесс при известных критериях показателей контролируемого процесса определяется следующей моделью:

$$\bar{X}(t) = \bar{W}\{\beta(x), t\} + \bar{E},$$

где $\bar{X} = \|x_1 \dots x_n\|$ – вектор показателей контролируемого процесса; $\bar{W}\{\beta(x), t\} = \|\bar{W}\{\beta^1(x), t\}, \dots, \bar{W}\{\beta^k(x), t\}\|$ –

вектор функций времени t и коэффициентов β ; $\vec{E} = \|\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n\|$ – вектор ошибок, возникающих из-за существования случайной составляющей.

Приведенная модель значительно облегчает прогнозирование состояния сложных ответственных устройств и систем, к которым относятся системы управления и диагностики тепловозов, и получение результатов прогноза с высокой точностью.

При разработке методики предиктивной диагностики решены следующие задачи: на основании анализа полученных результатов измерений определяется техническое состояние или уровень износа механических узлов, а также получение прогнозных оценок скорости изменения во времени (численных значений градиента) развивающихся деградиационных процессов в механических узлах. Это позволило классифицировать состояние объектов контроля по классам неисправностей: годен, условно годен и не годен, рассчитать остаточный технический ресурс диагностируемых узлов, разработать методологию повышения надежности конструктивных узлов и оптимизировать сроки и объемы проведения технического обслуживания и текущего ремонта локомотивов [6, 7].

Большинство деградиационных процессов, которые развиваются в механических узлах подвижного состава, являются тепловыми, т. е. изменение скорости деградации напрямую зависит от температуры устройства. В основе комплекса параметров системы диагностирования использованы температурные исследования деградиационных процессов, проведенные на математической модели и на реальных механических устройствах тепловозов. При дополнении электрических схем тепловоза соответствующими средствами измерения, на стационарных автоматизированных рабочих местах АРМ ТЧ появятся банки данных для принятия решений по организации ремонта по состоянию. На первом этапе для этих целей использованы программные возможности комплексного локомотивного устройства безопасности КЛУБ с соответствующим программным дополнением.

Отказы конструктивных устройств локомотивных систем управления и диагностики моделировались путем приравнивания коэффициентов цифровой модели энергетической цепи тепловоза значениям от нуля (выход из строя) до номинальных, соответствующих паспортным значениям и максимально допустимых. Промежуточные величины коэффициентов модели определялись для оценки степени деградации ответственных узлов энергетической цепи тепловоза, таких как дизель, тяговый синхронный генератор, выпрямительная установка, тяговые электродвигатели, электронное оборудование. Исправность силовых и вспомогательных цепей энергетической цепи тепловоза проверялась путем имитации выхода из строя автоматических выключателей, предохранителей, отказов поездных силовых контакторов и промежуточных реле. Для контроля сопротивления изоляции электрооборудования силовых цепей предусмотрены режимы однократных и периодических измерений, переход к автоматическому режиму измерений сопровождался определением периода повторных проверок.

Тепловой контроль (ТК) электрических цепей тепловозов проводится с помощью встроенных и носимых тепловизоров в дополнение к проведению типовых испытаний узлов и оборудования. Для тепловизионного контроля разработана методика и схема проведения ТК, а также определены браковочные критерии. В таблице 1 представлены допустимые и браковочные уровни нагрева электрических цепей тепловозов по классам неисправностей.

Таблица 1 – Распределение цифровых показателей дефектов электротехнических деталей и узлов тепловозов по классам неисправностей из-за нагрева токоведущих частей

Электротехнические детали и узлы тепловозов	Цифровые показатели, °C		
	Разрешена эксплуатация тепловозов	Условно допустимая работа тепловозов	Немедленное исключение из эксплуатации
1 Токоведущие изолированные или соприкасающиеся с изоляционными материалами части	Менее 60	60–80	Свыше 80
2 Токоведущие неизолированные металлические части, не соприкасающиеся с изоляционными материалами	Менее 60	60–120	Свыше 120
3 Болтовые контактные соединения из меди, алюминия и их сплавов	Менее 50	50–100	Свыше 100
4 Контакты (в воздушной среде)	Менее 60	60–75	Свыше 75
5 Контакты на основе серебра	Менее 50	50–90	Свыше 90
6 Предохранители на напряжение ниже 3 кВ	Менее 50	50–70	Свыше 70

На основании таблицы 1 разработано графическое распределение цифровых параметров допустимых уровней нагрева электрических цепей локомотива, приведенное на рисунке 2.

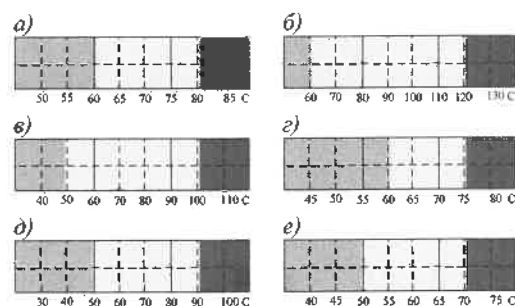


Рисунок 2 – Графическое распределение цифровых параметров уровней нагрева электрических цепей локомотива по классам неисправностей:

а – токоведущие изолированные части; б – токоведущие неизолированные металлические части; в – болтовые контактные соединения из меди, алюминия и их сплавов; г – контакты (в воздушной среде); д – контакты на основе серебра; е – предохранители на напряжении ниже 3 кВ

В колонках отражены уровни дефектов нагрева электрических цепей локомотивов по классам неисправностей: в зеленой колонке – уровни дефектов, имеющие допустимое значение для тепловозов, пригодных к эксплуатации; в желтой – уровни дефектов для тепловозов, условно пригодных к эксплуатации, а в красной – уровни дефектов, отражающих параметры аварийного состояния, требующего немедленного исключения тепловозов из эксплуатации. Цветовая гамма проверяемых механизмов обладает большей информативностью и оперативностью для принятия решений о ремонте.

Характерные отказы дизелей тепловозов связаны с нарушениями в работе топливной системы, в частности топливных насосов высокого давления (ТНВД). Проявлением неравномерной производительности секций ТНВД будет разная температура корпусов секций ТНВД и корпусов выпускных патрубков цилиндров. Термограмма корпусов секций ТНВД представлена на рисунке 3.

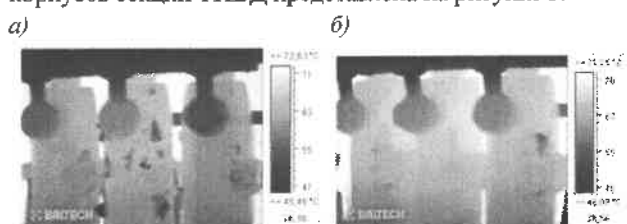


Рисунок 3 – Термограмма корпусов секций ТНВД
а – требуется проверка производительности секций ТНВД;
б – равномерная производительность секций ТНВД

Динамика температурного нагрева компрессоров, турбовоздухоуловков, зубчатых передач колесно-моторных блоков, тормозного оборудования, водяных и масляных охлаждающих секций дизеля контролировалась дополнительными специальными измерительными преобразователями. Сбор информации о результатах работы этих преобразователей способствовал повышению достоверности оценки деградационных процессов.

Получено 04.03.2025

V. V. Burchenkov, A. V. Kolenchikov, P. A. Krot. Improving predictive diagnostics technology energy chain of diesel locomotives.

The principles of analytical construction of information-measuring systems are considered and the method of predictive diagnostics and forecasting of technical condition of responsible mechanisms and devices of energy chain of diesel locomotives is developed. The assessment of residual resource of operability is performed on the basis of predictive diagnostic criteria. Degradation processes in responsible mechanisms and devices of diesel locomotives during operation are investigated.

Заключение. Разработана технология предиктивной диагностики и прогнозирования технического состояния тепловозов.

Оценка остаточного ресурса работоспособности выполнена на основе тепловых диагностических критериев. Исследованы деградационные процессы в ответственных механизмах и устройствах тепловозов в процессе эксплуатации.

Список литературы

- 1 Розенберг, Е. Н. О направлениях развития цифровой железной дороги / Е. Н. Розенберг, Ю. Н. Дзюба, В. В. Батраев // Автоматика, связь, информатика. – 2018. – № 1. – С. 9–12.
- 2 Бурченков, В. В. Интеграция систем и устройств мониторинга технического контроля и диагностики подвижного состава / В. В. Бурченков // Наука и техника транспорта. – 2020. – № 3. – С. 11–19.
- 3 Микропроцессорная система управления нового поколения для локомотивов / Ю. И. Клименко, К. С. Перфильев, В. Ю. Евсеев [и др.] // Локомотив. – 2018. – № 4. – С. 40–41.
- 4 Синельников, И. А. Бортовой комплекс предиктивной диагностики локомотивов АО «Трансмашхолдинг» / И. А. Синельников // Техника железных дорог. – 2024. – № 1 (65). – С. 4–9.
- 5 Баранов, Л. А. Аналого-цифровые преобразователи устройств автоматики и телемеханики электрифицированных железных дорог / Л. А. Баранов, Е. Е. Бакеев. – М.: Транспорт, 1979. – 207 с.
- 6 Диагностирование устройств железнодорожной автоматики и агрегатов подвижных единиц / А. Б. Бойник, Г. И. Загарий, С. В. Кошевой [и др.]. – Харьков: Новое слово, 2008. – 302 с.
- 7 Боряк, К. Ф. Перспективы внедрения температурного мониторинга для диагностики технического состояния механических узлов подвижного тягового железнодорожного состава / К. Ф. Боряк, С. Л. Волков, Е. С. Шпат // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2014. – № 2. – С. 50–53.

УДК 629.42:621.311

С. Я. ФРЕНКЕЛЬ, кандидат технических наук, А. П. ДЕДИНКИН, старший преподаватель, В. Г. КОЗЛОВ, заведующий научно-исследовательской лабораторией, М. А. КИЛОЧИЦКАЯ, младший научный сотрудник, О. В. ДЕМЬЯНЧУК, инженер, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

РАСЧЕТ НОРМ РАСХОДА ТОПЛИВА НА ТЯГУ ПОЕЗДОВ

Рассматривается применение различных методов расчета норм расхода топлива на тягу поездов, приводится сравнительный анализ полученных результатов. Оптимизация расхода топлива в железнодорожной отрасли имеет большое значение с точки зрения экономии ресурсов, сокращения эксплуатационных расходов, снижения негативного воздействия на окружающую среду. Предлагаемый подход, основанный на анализе больших объемов данных о параметрах движения поездов и расхода топлива с использованием алгоритмов машинного обучения, таких как регрессия и нейронные сети, позволяет создать модели, способные прогнозировать оптимальный расход топлива для конкретных условий движения поезда.

Оптимизация расхода топлива в железнодорожной отрасли является важной задачей, поскольку организация движения поездов требует значительных энергетических затрат. В данном исследовании рассматривается возможность применения методов машинного обучения для создания моделей, способных прогнозировать расход топлива на тягу поездов.

Для решения задачи расчета норм расхода топлива на тягу поездов использован подход, основанный на анализе и обработке больших объемов данных. Собранные данные включают в себя параметры движения поездов (эксплуатационные факторы) и расход топлива, очищенные от выбросов и аномалий. Применялись методы статистического анализа для определения наиболее важных параметров, влияющих на расход топлива. Для создания моделей предсказания расхода топлива выбраны методы машинного обучения: регрессионный анализ и градиентный спуск с применением нейронной сети.

Регрессионные модели позволяют установить зависимость между параметрами движения и расходом топлива, в то время как нейронные сети способны выявлять сложные нелинейные взаимосвязи между ними.

Модель расчета расхода топлива на тягу поездов с использованием регрессионного анализа и нейронных сетей можно представить в общем виде [1]:

$$B = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n, \quad (1)$$

где b_0 – свободный член; $b_1, \dots, b_n$ – коэффициенты пропорциональности / вес связи; $x_1, \dots, x_n$ – эксплуатационные факторы.

В качестве эксплуатационных факторов учитывают [1]:

- в грузовом движении – перевозочную работу, пробег, массу состава, среднюю нагрузку на ось вагона, техническую скорость движения, количество предупреждений об ограничении скорости движения и др.;

- в пассажирском движении – перевозочную работу, пробег, массу состава, техническую скорость движения, количество предупреждений об ограничении скорости движения, время нагона и др.;

- в пригородном движении – перевозочную работу, пробег, техническую скорость движения, количество предупреждений об ограничении скорости движения, время нагона, коэффициент участковой скорости и др.

В качестве исходных данных для построения регрессионной модели принята оперативная информация

о поездках локомотивных бригад и расходе дизельного топлива на тягу поездов, полученная из автоматизированной системы интегрированной обработки маршрута машиниста.

Расчет расхода дизельного топлива на поездку выполнялся для грузового транзитного вида движения, серии локомотива 2ТЭ10УК(МК), базисный период – январь 2022 г., расчетный – январь 2023 г. При формировании выборки были исключены поездки, содержащие нехарактерные данные.

На первом этапе расчета в качестве эксплуатационных факторов были рассмотрены пробег, перевозочная работа, количество предупреждений об ограничении скорости движения, техническая скорость движения, средняя нагрузка на ось вагона [1]. Однако в имеющейся выборке все поездки осуществлялись без выдачи предупреждений, вследствие чего при построении регрессионной модели коэффициент пропорциональности для данного фактора принимает значение, равное нулю. Поэтому далее было выполнено построение регрессионной модели без учета фактора «Количество предупреждений».

Результаты выполненного регрессионного анализа приведены в таблицах 1, 2.

Таблица 1 – Регрессионная статистика

Коэффициент	Значение
Коэффициент множественной корреляции	0,9556
Коэффициент детерминации	0,9131
Нормированный коэффициент детерминации	0,9119

Таблица 2 – Коэффициенты пропорциональности регрессионной модели

Фактор	Параметр	Коэффициент	t-статистика	P-значение
Пробег	b_1	2,895	12,711	$8,5 \times 10^{-30}$
Перевозочная работа	b_2	0,879	17,748	$2,1 \times 10^{-48}$
Техническая скорость движения	b_3	-7,618	-3,606	$4,0 \times 10^{-4}$
Средняя нагрузка на ось вагона	b_4	-13,249	-4,339	$2,0 \times 10^{-5}$

Таким образом, уравнение регрессии имеет вид:

$$B = 626,413 + 2,895L + 0,879A - 7,618v - 13,249q_0, \quad (2)$$

где L – пробег, км; A – перевозочная работа, тыс. ткм брутто; v – техническая скорость движе-

ния, км/ч; q_0 – средняя нагрузка на ось вагона, т/ось.

На основании уравнения (2) выполнен расчет заданий по расходу топлива за поездки, совершенные в январе 2023 г., и определены отклонения от фактических значений расхода топлива (рисунок 1).

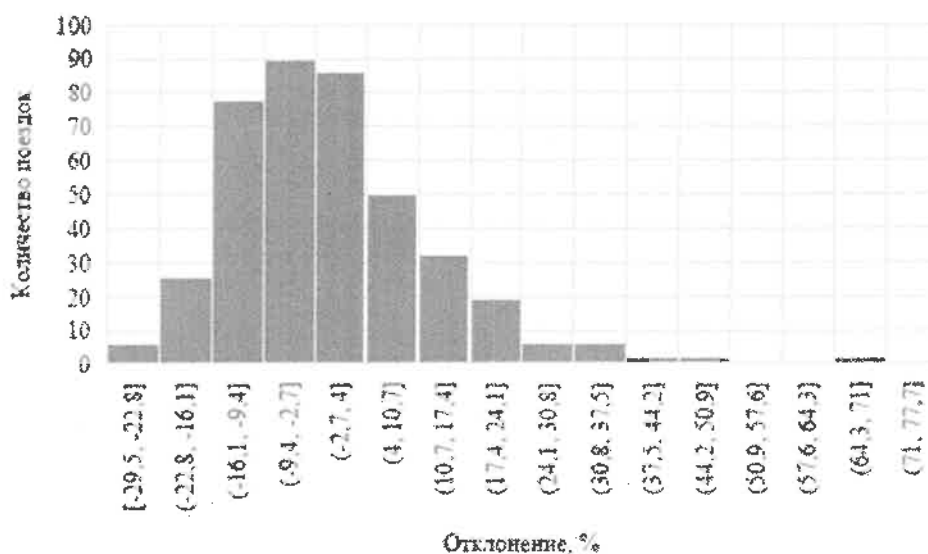


Рисунок 1 – Гистограмма относительных отклонений норм, рассчитанных с использованием метода регрессионного анализа, от фактического расхода топлива за поездку

Из гистограммы, приведенной на рисунке 1, видно, что наибольшее количество относительных отклонений заданий расхода топлива на поездку, рассчитанных по полученной регрессионной модели, от фактического расхода находится в интервале $(-9,4; -2,7]$, также значительная часть принадлежит интервалам $(-16,1; -9,4]$, $(-2,7; 4,0]$.

Расчет норм расхода топлива на тягу поездов с применением нейронных сетей основан на методике машинного обучения с учителем, которая заключается в поиске алгоритма преобразования входных данных (эксплуатационных факторов) в выходные (расход топлива). Для этого используется модель полносвязной нейронной сети, состоящая из одного слоя с пятью нейронами [2, 3]. Количество нейронов определяется количеством входных эксплуатационных факторов для обучения. Так как это единственный слой, то его размерность равна размерности результата – выходного значения модели – количеству килограмм топлива (рисунок 2).

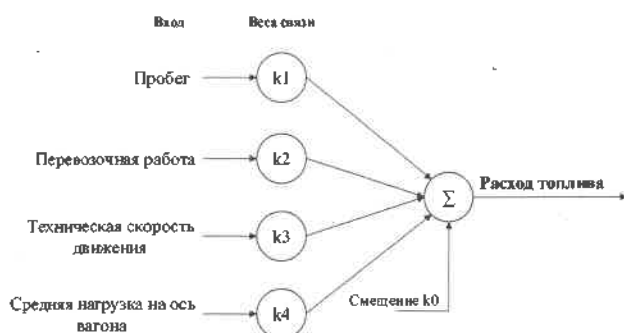


Рисунок 2 – Нейронная сеть для расчета норм расхода топлива на тягу поездов

Для обучения модели и дальнейшего сравнительного анализа результатов используются размеченные исходные данные, которые были использованы при построении регрессионной модели. Во время тренировки для подсчета корректировок значений внутренних переменных (весов) используется функция оптимизации (среднеквадратичная ошибка). Цель функции – найти значения внутренних переменных в модели таким образом, чтобы максимально приближенно описывать корреляционные связи входных данных с результатом. При этом коэффициент скорости обучения (размер шага) корректировки внутренних значений переменных составляет 0,1.

Во время обучения модель получает на вход значения эксплуатационных факторов, выполняет преобразования, используя значения внутренних переменных (веса), и возвращает значения, которые должны соответствовать количеству расхода топлива в тоннах. Разница между необходимым результатом и фактическим вычисляется с использованием функции потерь, а функция оптимизации определяет, каким образом должны быть подкорректированы веса для уменьшения потерь.

В результате обучения нейронной сети были установлены соответствующие веса связей нейронов. Для сравнения двух подходов значения коэффициентов пропорциональности, полученные методом регрессионного анализа, и веса связей нейронов, полученные методом машинного обучения нейронной сети, приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчета параметров регрессионной модели и нейронной сети

Параметр	Значение				
	0	1	2	3	4
Коэффициент пропорциональности	626,413	2,895	0,879	-7,618	-13,249
Вес связи	194,819	3,261	0,893	0,204	-7,873

Нейронную сеть с установленными весами можно формализовать в виде уравнения

$$B = 194,819 + 3,261L + 0,893A + 0,204v - 7,873 q_0. \quad (3)$$

На основании полученного уравнения (3) выполнен расчет значений расхода топлива за поездку для име-

ющихся размеченных исходных данных, также определены отклонения фактических значений расхода топлива от норм, рассчитанных на основе нейронной сети (рисунок 3).

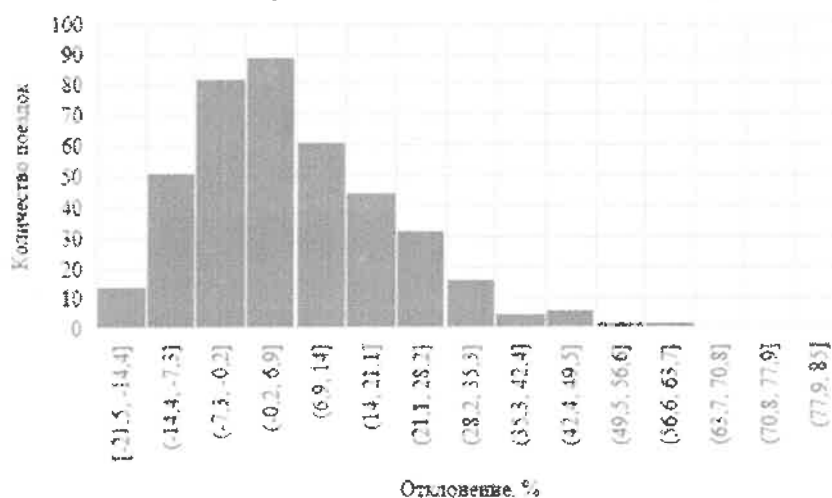


Рисунок 3 – Гистограмма относительных отклонений норм, рассчитанных с использованием метода стохастического градиентного спуска, от фактического расхода топлива за поездку

Из гистограммы, приведенной на рисунке 3, видно, что наибольшее количество относительных отклонений норм, рассчитанных по полученной регрессионной модели, от фактического расхода топлива за поездку находится в интервале $(-0,2; 6,9]$.

Для первого подхода, основанного на методе регрессионного анализа, характерно преобладание отклонений норм расхода топлива в меньшую сторону по сравнению с фактическими значениями. Второй подход, основанный на использовании метода стохастического градиентного спуска, дает в большинстве случаев завышенные значения норм расхода топлива. Сравнение коэффициентов детерминации для первого ($R^2 = 0,9131$) и второго ($R^2 = 0,8776$) подходов показывает, что предпочтительным является применение метода регрессионного анализа.

Проведенные эксперименты показали, что предложенные подходы позволяют создавать модели, способные с достаточной точностью рассчитывать (предсказывать) расход топлива на тягу поездов. При этом в них отсутствуют серьезные механизмы адаптации к большому числу не вошедших в модели параметров (числа остановок поезда, опытности машиниста, реальных тяговых характеристик конкретного локомотива и т.д.), а точность обеспечена лишь за счет многомерного линейного усреднения исходных данных, в границах которых проводился анализ и, соответственно, машинное обучение. Во втором подходе очень

важное значение имеет процесс обучения, который каждый раз может давать различные значения весов. Важно подобрать способ обучения и не переобучить модель. Для этого, чтобы повысить точность обучения и достоверность модели, предлагается первоначальные значения весов нейронной сети устанавливать методом регрессионного анализа, а дальнейшие корректировки осуществлять методом градиентного спуска. Дальнейшие исследования могут быть направлены на улучшение моделей, учет дополнительных параметров и интеграцию разработанных решений в практические системы управления железнодорожным транспортом.

Список литературы

- 1 Френкель, С. Я. Прогнозирование расхода энергоресурсов на тягу поездов методами регрессионного анализа / С. Я. Френкель, А. П. Дединкин // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф. Гомель, 25–26 нояб. 2021 г. В 2 ч. Ч. 1. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 172–173.
- 2 Флах, П. Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных / П. Флах ; пер. с англ. А. А. Слинкина. – М. : ДМК Пресс, 2015. – С. 259–260.
- 3 Плас, Дж. В. Python для сложных задач. Наука о данных и машинное обучение. Руководство / Дж. В. Плас. – СПб. : Питер, 2018. – 759 с.

Получено 08.01.2024

S. Y. Frenkel, A. P. Dedinkin, V. G. Kozlov, M. A. Kilochnikay, O. V. Demyanchuk. Calculation of fuel consumption rates for train traction.

The application of various methods for calculating fuel consumption rates for train traction is being considered, and a comparative analysis of the obtained results is presented. Optimizing fuel consumption in the railway industry is of great importance in terms of resource conservation, reducing operating costs, and mitigating negative environmental impact. The proposed approach, based on analyzing large volumes of data on train motion parameters and fuel consumption using machine learning algorithms neural networks, enables the creation of models capable of predicting the optimal fuel consumption for specific train operating conditions.

УДК 658.512

А. Г. ОТОКА, аспирант, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОЧИХ МЕСТ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ В КОЛЕСНО-РОЛИКОВЫХ УЧАСТКАХ ЗА СЧЕТ РАЦИОНАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

Приводится пример неэффективности проведения неразрушающего контроля колесных пар в условиях колесно-роликового участка Гомельского вагонного депо до 2017 г. Предложен альтернативный вариант повышения производительности ремонта колесных пар за счет изменения расположения рабочих мест (участков) неразрушающего контроля, при котором сокращается преодолеваемое краном расстояние с одной позиции на другую и количество перемещений.

Введение. В современном машиностроительном производстве в условиях жёсткой конкуренции ключевую роль играет достижение минимальной себестоимости выпускаемой продукции при обеспечении требуемого качества. Реализуется это путём исключения из производственного процесса неоправданных производственных потерь, которые ведут к росту себестоимости. К таким потерям относятся потери, связанные с процессом транспортирования различных материалов (сырьё, заготовки, готовые изделия и т. п.) на предприятии.

Очевидно, что полностью избавиться от транспортных операций невозможно, однако необходимо стремиться к минимизации грузопотока полуфабрикатов.

Для минимизации мощности потока в многономенклатурном производстве стремятся выбрать оптимальную расстановку оборудования. В таких случаях считают, что заранее известны по технологическим процессам изготовления изделий маршруты перемещений полуфабрикатов между оборудованием. Это означает, что для каждой единицы оборудования определено, какие именно технологические операции на ней выполняются и в каких количествах, откуда на данное рабочее место поступают заготовки для выполнения данных операций и куда после операций необходимо отправить полученные полуфабрикаты.

Транспортные издержки – не единственные, возникающие на производстве и подлежащие минимизации. Издержки возникают и, например, от неравномерной загрузки станков, поскольку она может привести к срыву сроков исполнения заказов [1].

Колёсно-роликовый участок (КРУ) является важной составляющей железнодорожной инфраструктуры, специализирующейся на техническом обслуживании колёсных пар (КП) грузовых и пассажирских вагонов. КРУ играет ключевую роль в обеспечении безопасности движения поездов, поскольку КП являются одним из наиболее нагруженных и подверженных износу элементов железнодорожного подвижного состава.

В КРУ особое внимание уделяется размещению оборудования с учётом удобства и эффективности проведения работ. Каждый элемент оборудования имеет свою функциональность и требует определённого расположения для обеспечения эффективности технологического процесса.

Для оптимизации рабочего пространства и обеспечения безопасности работников существует регламент,

в котором приведены требования к расстоянию между оборудованием. Этот регламент предусматривает определённые стандарты и рекомендации по размещению оборудования, чтобы обеспечить безопасность, удобство доступа и эффективность работы. Расстояние между станками, прессами, стеллажами и другими основными элементами оборудования должно быть оптимальным для выполнения операций ремонта КП. Это позволяет обеспечить свободный доступ для рабочих, безопасную перемещаемость материалов и инструментов, а также облегчает осуществление необходимых операций в рамках технологического процесса.

В настоящее время соблюдение регламента по размещению оборудования на участке по ремонту КП является важным фактором обеспечения эффективности и безопасности работ. Это позволяет создать оптимальные условия для проведения ремонтных операций, повысить производительность и качество работ, а также обеспечить комфортные условия труда для специалистов.

Предпринимаются попытки создать имитационную модель процесса ремонта КП. Например, в работе [2] авторы предложили модель процесса ремонта КП, созданную с использованием базовых блоков среды *AnyLogic*, которая позволяет исследовать процесс в течение любого интервала времени. Для настройки ресурсов, оборудования и иных параметров модели были использованы данные производственного процесса, собранные в ходе производственной практики студентов, статистика, а также типовые нормы времени на операции.

Следует отметить, что большинство КРУ строились 50–70 лет назад. В большинстве случаев использовались уже готовые производственные здания, ранее не предназначенные для таких целей, но подходящие по своим размерам (площади) с учётом имеющегося стандартного перечня оборудования для осуществления ремонта КП. Поэтому размещение станков, стеллажей, стендов, моечных машин, ремонтных позиций и другого оборудования КРУ в условиях отсутствия необходимых полезных площадей определялось, как правило, не рациональным подходом, а возможностью в целом осуществления ремонта КП с минимальными потерями времени, так как избежать прямоочности просто не получится.

С появлением широкой номенклатуры ремонтного и вспомогательного оборудования, автоматизирован-

ных средств контроля, в том числе и в неразрушающем контроле (НК), существующие КРУ, с учётом проблемных уже противопоточных перемещений КП с одной позиции на другую, не позволяют повысить эффективность ремонта. Решение данной проблемы может быть реализовано посредством нового КРУ или за счёт существенного изменения технологического процесса путём рационального размещения оборудования и выполнения обязательных условий регламента.

Главными ресурсами повышения производительности ремонта КП являются модернизация технологии контроля качества ремонта и внедрение новой техники на основе современных технологий [3].

Одним из этапов наиболее эффективного размещения производственного оборудования и оптимальной организации труда является создание порядка или рациональное размещение предметов, при котором ими можно легко воспользоваться [4].

Целью работы явилось осуществление оптимизации и размещения технологических позиций и оборудования за счёт минимизации работы по перемещению КП с одной позиции на другую.

Разработка предложений и обсуждение полученных результатов.

Рассмотрим задачу рационального размещения оборудования КРУ на примере Гомельского вагонного депо в 2017 г. и в настоящее время.

Основные недостатки КРУ вагонного депо:

- небольшую площадь для размещения ремонтного оборудования (ширина производственного здания не позволяет проложить дополнительный ремонтный путь);

- выход из колёсного парка является одновременно и входом в КРУ для КП, требующих проведения среднего (СР) и текущего ремонта (ТР);

- нерациональное размещение машины для мойки КП (на входе в КРУ), что в целом затрудняет организацию ремонта (до 2017 г.);

- нерациональное размещение позиций (рабочих мест) НК (до 2017 г.);

- другие.

До 2017 г. участки НК КП Гомельского вагонного депо по старой технологии размещались нерационально: перемещение КП было противопоточным, т. е. направлено против хода следования технологического процесса и очень много времени уходило на их перемещение с помощью кран-балки (рисунок 1). Все это приводило к снижению производительности ремонта КП.

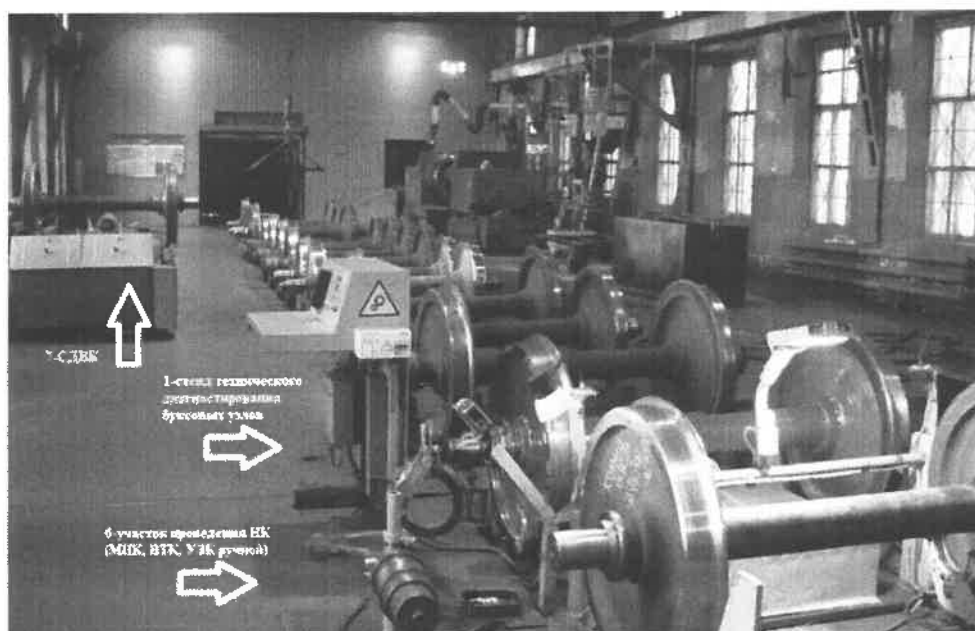


Рисунок 1 – Схема размещения участков НК по старой технологии (2017 год)

Основные перемещения кран-балки при ТР, СР КП в КРУ по старой технологии приведены в таблице 1 и на рисунке 2.

Таблица 1 – Технологические переходы при различных видах ремонта КП

Траектория перемещения	Направление перемещения КП	Профессия
<i>Средний ремонт</i>		
А–Б	С входа цеха на стенд технического диагностирования буксовых узлов	Дефектоскопист
Б–В	Со стенда технического диагностирования буксовых узлов на стенд демонтажный	Слесарь по ремонту подвижного состава (РПС)
В–Г	Со стенда демонтажного на колёсотокарный станок	Токарь
Г–Д	С колёсотокарного станка к моечной машине	Токарь
Д–Е	С моечной машины на участок проведения НК	Дефектоскопист
Е–Ж	С участка проведения НК на стенд СДВК 1803.829-00.00.000	Дефектоскопист

Окончание таблицы 1

Траектория перемещения	Направление перемещения КП	Профессия
Ж-З	Со стенда СДВК к монтажному отделению	Слесарь РПС
З-И	С монтажного отделения на стенд технического диагностирования буксовых узлов	Дефектоскопист
И-К	Со стенда технического диагностирования буксовых узлов на выход цеха	Слесарь РПС
<i>Текущий ремонт</i>		
А-Б	С входа цеха на стенд технического диагностирования буксовых узлов	Дефектоскопист
Б-В	Со стенда технического диагностирования буксовых узлов на стенд для ТР	Слесарь РПС
В-Г	Со стенда ТР на колёсотокарный станок	Токарь
Г-Д	С колёсотокарного станка на участок проведения НК	Токарь
Д-Е	С участка проведения НК на стенд СДВК	Дефектоскопист
Е-Ж	Со стенда СДВК на стенд для ТР	Слесарь РПС
Ж-З	Со стенда для ТР на стенд технического диагностирования буксовых узлов	Слесарь РПС
З-И	Со стенда технического диагностирования буксовых узлов на выход цеха	Слесарь РПС

Большое влияние на снижение производительности оказывают лишние перемещения кран-балки и время ожидания, когда универсальное средство для перемещения КП может понадобиться одновременно токарю, слесарю по ремонту подвижного состава, дефектоскописту и другим работникам КРУ, имеющим допуск к грузоподъёмным механизмам, управляемым с пола. Вместе с тем время по использованию крана при постановке или снятии КП с рабочего места принято относить к категории подготовительно-заключительных операций, от которых существенно зависят типовые нормы времени.

На рисунке 2 хорошо видно, что, поступая в КРУ для ремонта, КП перемещается каждый раз к центру производственного здания на стенд технического диагностирования буксовых узлов 1 с помощью кран-балки из-за наличия на пути скопившихся и ожидающих ремонта КП. При этом участок НК 6 и стенд СДВК 7 для проведения иммерсионного ультразвукового контроля ободьев цельнокатаных колёс находятся в таком месте, что в случае перемещения КП между ними по траектории Д-Е (см. рисунок 2, а при ТР) и Е-Ж (рисунок 2, б при СР), кран-балка зачастую может быть занята другими работниками КРУ. Например, слесарем РПС при перемещении КП на демонтируемый стенд 8 или со стенда технического диагностирования буксовых узлов 1 на стенд для ТР 2, 3, а также токарем для перемещения её с колёсотокарного станка к моечной машине 9 при СР или с демонтируемого стенда 8 к колёсотокарным станкам 4, 5, с колёсотокарных станков 4, 5 к участку проведения НК 6 и т. д.

Наличие в КРУ двух кранов в основном помещении не позволяет игнорировать данную проблему ввиду того, что в месте размещения участка НК 6 и стенда СДВК 7 может работать только один кран (так как может не обеспечиваться безопасное расстояние между ними в этой конкретной зоне). Хочется отметить и нерациональное размещение настроечных образцов НК 14 для проведения ежесменной настройки пороговой чувствительности средств дефектоскопии, которые располагаются за участком НК 6. Такое расположение не позволяет при СР перемещать КП к монтажному стенду 10, не прибегая все к той же кран-балке. Основным недостатком расположения вышеупомянутых технических средств на участке НК 6 является то, что данная позиция непроходная, о чём свидетельствует

постоянное использование крана при подаче на рабочее место дефектоскописта и при перемещении после проведения дефектоскопии КП на стенд СДВК 7.

На практике такая расстановка оборудования не позволяла увеличить выпуск КП из ремонта, что и привело к вопросу о перестановке и рациональному размещению технологических позиций ремонта, в том числе и участков НК.

Была предложена и реализована схема размещения участков НК, при которой количество перемещений кран-балкой значительно сокращается, увеличивается загрузка оборудования, т. е. повышается производительность труда и технологический процесс не нарушается (рисунок 3) [5].

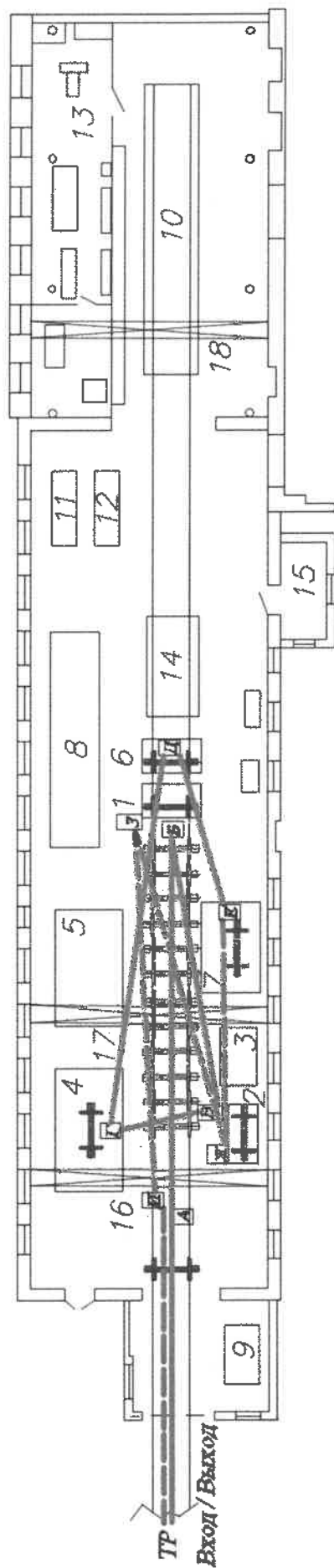
Так, стенд СДВК 7 был вмонтирован в межрельсовое технологическое пространство (ранее он был выполнен отдельно стоящим на полу) на месте расположения участка НК 6 и настроечных образцов 14 для проведения НК (см. рисунок 2). Участок НК 6 занял позицию стенда технического диагностирования буксовых узлов 1. На участке НК был установлен пневматический толкатель, осуществляющий за счёт металлической П-образной рамки выталкивание КП к стенду СДВК 7. При этом при переходе с позиции 6 (участок проведения основных операций НК) на позицию 7 (СДВК) кран-балка не используется.

Стенд технического диагностирования 1 расположили на входе КРУ, тем самым обеспечив высокую загрузку КП без использования крана (КП накатываются вручную на стенд).

Образцы настроечные для проведения НК 14 (рисунок 4) были расположены отдельно на специализированной рамке на месте расположения по старой технологии стенда СДВК 7, что позволило при СР после проведения иммерсионного ультразвукового контроля ободьев цельнокатаных колёс подавать КП накатом к монтажному стенду 10 без использования крана.

Важным является и размещение моечной машины 9 (см. рисунок 4) на месте вспомогательного помещения 15 (см. рисунок 2). Такое расположение моечной машины привело к тому, что КП, требующие обмывки при СР, не мешают перемещению КП с колёсного парка на вход КРУ, а также перемещению их на стенды для ТР 2, 3. Можно сказать, что произошла разгрузка кран-балки 16.

а)



37

б)

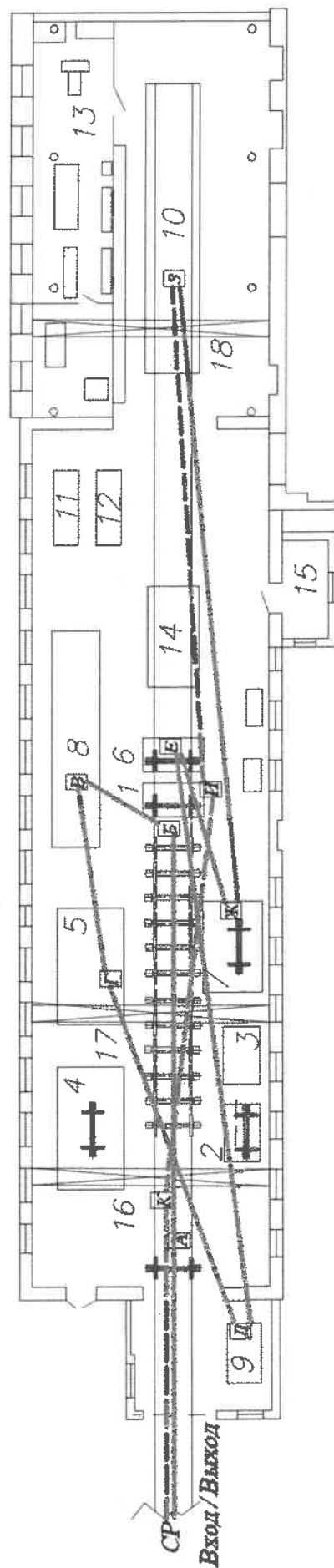


Рисунок 2 – Схема размещения участков НК в КРУ по старой технологии:

а – при текущем ремонте КР составляет восемь раз: А-Б, Б-В, В-Г, Г-Д, Д-Е, Е-Ж, Ж-З, З-И, И-К; 1 – стенд технического диагностирования буксовых узлов; 2, 3 – стенды для текущего ремонта КР;

4, 5 – станки колесооткарные; 6 – участок проведения НК; 7 – стенд СДВК (иммерсионный ультразвуковой автоматизированный контроль ободов цельнокатанных колес); 8 – стенд демонтажный; 9 – моечная машина КР; 10 – монтажный стенд; 11, 12 – моечные установки (для подшипников, корпусов букс и других деталей); 13 – роликовое отделение; 14 – образцы настроечные для проведения НК; 15 – вспомогательное помещение; 16, 17, 18 – краны мостовые

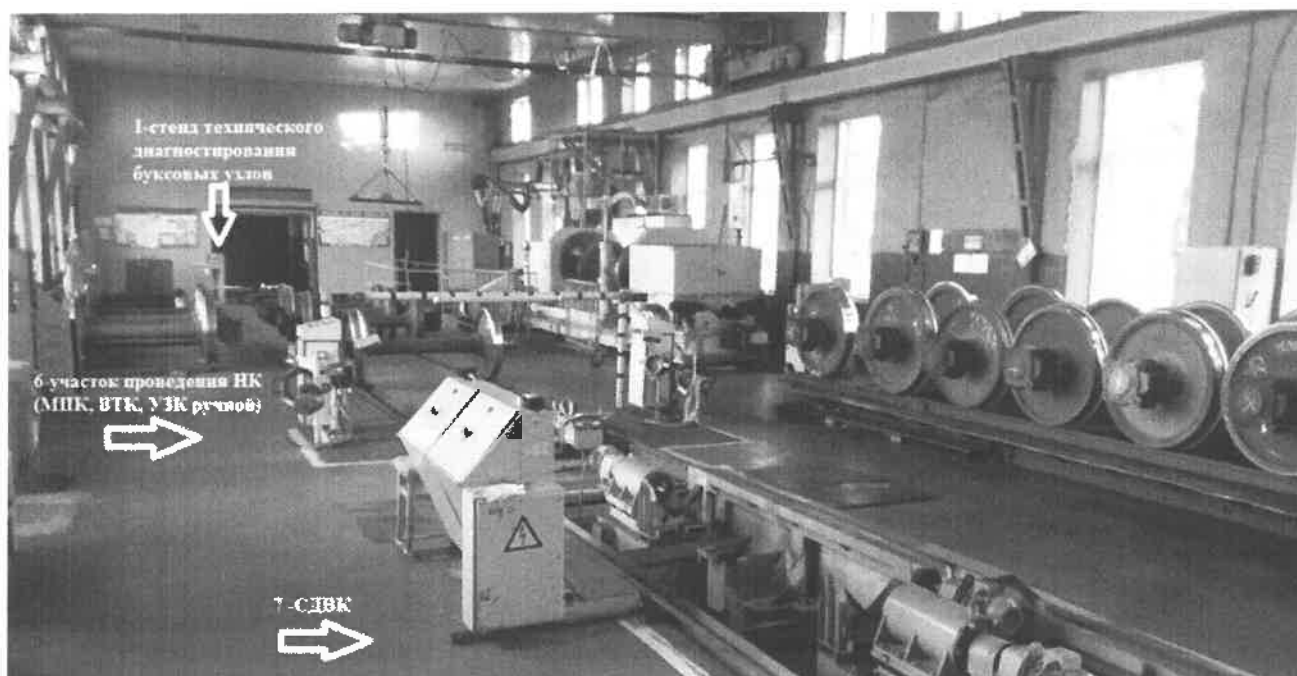


Рисунок 3 – Общий вид основного помещения КРУ по новой технологии

Основные перемещения кран-балки при ТР, СР КП в КРУ по новой технологии приведены в таблице 2 и на рисунке 4.

Таблица 2 – Транспортировка КП при ТР и СР в КРУ (по новой технологии)

Траектория перемещения	Направление перемещения КП	Профессия
<i>Средний ремонт</i>		
А–Б	Со стенда технического диагностирования буксовых узлов на стенд демонтажный	Слесарь РПС
Б–В	Со стенда демонтажного на колёсотокарный станок	Токарь
В–Г	С колёсотокарного станка к моечной машине	Токарь
Г–Д	С моечной машины на участок проведения НК	Дефектоскопист
Д–Е	С монтажного отделения на стенд технического диагностирования буксовых узлов	Дефектоскопист
<i>Текущий ремонт</i>		
А–Б	Со стенда технического диагностирования буксовых узлов на стенд для ТР	Слесарь РПС
Б–В	Со стенда для ТР на колёсотокарный станок	Токарь
В–Г	С колёсотокарного станка на участок проведения НК	Токарь
Г–Д	С позиции стенда СДВК на стенд для ТР	Слесарь РПС
Д–Е	Со стенда для ТР на стенд технического диагностирования буксовых узлов (через толкатель на выход цеха)	Слесарь РПС

Такое техническое решение позволило увеличить производительность ремонта КП при сокращении времени транспортировки с помощью крана (с учётом нового расположения участков и вспомогательного оборудования НК, а также исключения лишних операций перемещения на позиции НК и ремонта).

В соответствии с проведёнными замерами времени, на основании хронометражно-нормировочных карт по перемещению КП (см. рисунки 2, 4), была показана значительная экономия времени для дефектоскописта, слесаря РПС и токаря как при СР, так и при ТР.

Если принять во внимание, что потребляемое краном количество электрической энергии прямо пропорционально суммарной работе по перемещению КП, то после более рационального размещения участков НК и другого

оборудования потребление электроэнергии на перемещение КП в данном технологическом процессе снизилось на 60 %.

Конечно, полностью избавиться от лишних перемещений краном в условиях существующего КРУ Гомельского вагонного депо не получится. Однако внедрение новой эффективной технологии перемещения КП грузовых и пассажирских вагонов при ТР и СР позволило увеличить объем КП из ремонта за счёт рационального поточного размещения участков НК. Также, благодаря сокращению количества ненужных и длительных операций по перемещению КП по старой технологии, отмечено снижение финансовых затрат на электроэнергию, потребляемую кран-балкой.

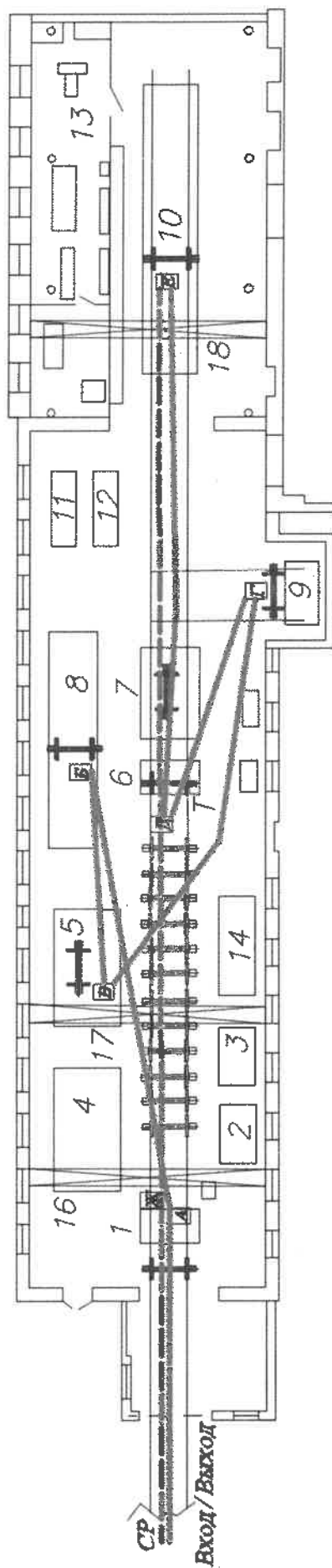
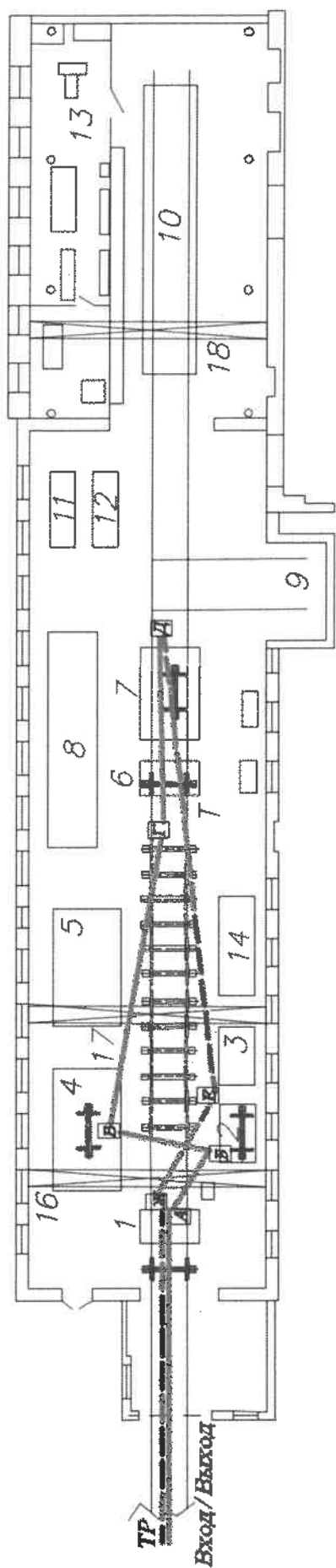


Рисунок 4 – Схема размещения участков НК в КРУ по новой технологии:

а – при текущем ремонте КП перемещение краном составляет 5 раз: А-Б, Б-В, В-Г, Д-Е, Е-Ж;

б – при среднем ремонте КП перемещение краном составляет 5 раз: А-Б, Б-В, В-Г, Г-Д, Д-Е-Ж;

1 – стенд технического диагностирования буксовых узлов; 2,3 – стенды для текущего ремонта КП;

4,5 – станки колесотомарные; 6 – участок проведения НК; 7 – стенд СДВК (иммерсионный ультразвуковой автоматизированный контроль ободьев цельнокатанных колес);

8 – стенд демонтажный; 9 – моечная машина КП; 10 – монтажный стенд; 11,12 – моечные установки (для подшипников, корпусов букс и других деталей);

13 – роликовое отделение; 14 – образцы настроечные для проведения неразрушающего контроля;

16,17,18 – краны мостовые; Т – толкатель для выталкивания КП на стенд СДВК

Заключение. Рациональная расстановка участков НК, моечной машины и настроечных образцов для настройки средств дефектоскопии привела к тому, что при СР количество перемещений краном сократилось с восьми до пяти раз, а при ТР – с девяти до пяти. Это позволяет дефектоскописту не тратить время на ожидание и перемещение КП (например, при ТР КП дефектоскопист в целом не использует кран-балку) на позицию дефектоскопии, а уделять основное внимание поиску дефектов.

Список литературы

1 **Вороненко, В. П.** Оптимизация материальных потоков в производственных системах путем рационального размещения оборудования на производственном участке и распределения операций между станками / В. П. Вороненко,

К. А. Куцелап, А. Э. Шалдов // Вестник РГТА имени П. А. Соловьева. – 2018. – № 2 (45). – С. 41–47.

2 Имитационное моделирование процесса ремонта колесных пар в среде AnyLogic / О. Ю. Кривич, И. К. Сергеев, М. А. Полутов, М. Р. Мепаршвили // Наука и техника транспорта. – 2024. – № 4. – С. 63–71.

3 **Фурцев, А. И.** Повышение эффективности ремонта колесных пар вагонов на основе современных технологий : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07 / А. И. Фурцев. – М., 2007. – 154 с.

4 **Балалаев, А. Н.** Оценка эффективности размещения оборудования на предприятиях вагонного хозяйства / А. Н. Балалаев, М. А. Паренюк // Наука и образование транспорту. – 2016. – № 1. – С. 17–20.

5 Схема размещения участков неразрушающего контроля в КРУ // АС Рационализатор: рационализаторские предложения ВЧД-7 (РП от 30.12.2019 № 2422/5, автор Отока А. Г.). – URL: <http://racio.brest.rw/racionalizator/main/html> (дата обращения: 07.05.2025).

Получено 05.05.2025

A. G. Otoka. Improving the efficiency of non-destructive testing workplaces in wheel-roller sections due to the rational placement of equipment.

The article provides an example of the inefficiency of conducting non-destructive monitoring of wheelsets in the conditions of the wheel-roller section of the Gomel wagon depot until 2017. An alternative option is proposed to increase the productivity of wheelset repairs by changing the location of non-destructive testing workstations (sections), which reduces the distance traveled by the crane from one position to another and the number of movements.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

УДК 656.21/.22

А. А. ЕРОФЕЕВ, доктор технических наук, А. А. НАУМЕНКО, аспирант, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОТКЛОНЕНИЙ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ СОРТИРОВОЧНОЙ СТАНЦИИ

Описана существующая технология работы сортировочной станции. Определены основные виды отклонений от плана работы станции, возникающие при производстве маневровой работы, а также основные виды корректировок, применяемых при возникновении данных отклонений. Предложена форма совмещенного планового и исполненного графиков работы станции. Описаны основные действия, определяющие начало и окончание технологических операций, выполняемых на сортировочной станции. Определены автоматизированные системы, с помощью которых возможно определить начало и окончание основных технологических операций без участия человека. Сформированы требования к модулю автоматического определения отклонений в технологическом процессе от плановых параметров.

Управление работой железнодорожной станции основывается на разработке и реализации долгосрочных, среднесрочных и оперативных планов. Оперативное планирование работы станции производится на сутки, смену, а также по 4-часовым периодам в течение смены [1]. От качественного планирования работы железнодорожной станции зависит эффективность ее работы. Ключевой целью сменно-суточного планирования работы станции является организация эффективной переработки поездо-, вагоно-, грузопотоков с учетом наличия станционных и маневровых ресурсов [2].

Графическим отображением технологического процесса обработки поездов и вагонов является суточный план-график работы грузовой станции. С помощью суточного плана-графика работы железнодорожной станции возможно согласовать работу всех элементов станции, изучить их взаимодействие между собой, определить межоперационные интервалы и узнать причины их увеличения, установить необходимость увеличения или уменьшения маневровых средств. Суточный план-график дает возможность проверить достаточность пропускной и перерабатывающей способности станции, а также определить временные параметры технологического процесса [3].

Суточное планирование производится в центре управления перевозок с участием центра управления местной работы отделения дороги и передается на станцию. Начальником станции или его заместителем составляется план грузовой работы станции на текущие сутки, а также сменные задания, в которых содержатся эксплуатационные показатели суточного плана, рассчитанные для каждой смены [4].

Выполнение показателей сменного задания контролирует начальник смены, который осуществляет текущее планирование работы станции. Текущее планирование осуществляется на основе поступающей информации о подходе поездов, вагонов, локомотивов, а также их фактическом наличии на станции к началу планируемого периода. С помощью текущего планирования обеспечивается выполнение показателей су-

точных планов и сменных заданий с учетом конкретной обстановки и условий работы станции в планируемом периоде.

Оперативное руководство, а также планирование и управление маневровой работой на железнодорожной станции осуществляет маневровый диспетчер [5].

При планировании маневровой работы на железнодорожной станции маневровый диспетчер руководствуется полученной информацией от поездного диспетчера о подходе грузовых поездов на станцию, наличии поездных локомотивов для отправляемых поездов, а также информацией, поступающей из отделения дороги о местном вагонопотоке и наличии вывозных локомотивов для вывоза местного груза на прилегающие станции.

В течение смены на железнодорожной станции возникают различные отклонения от суточного планирования [6]. Например, в работе сортировочной горки возможны следующие отклонения:

- фактическое время надвига состава больше (меньше), чем планируемое;
- фактическое время роспуска больше (меньше), чем планируемое.

Графическое отображение данных видов отклонений в работе железнодорожной станции приведено на рисунке 1.

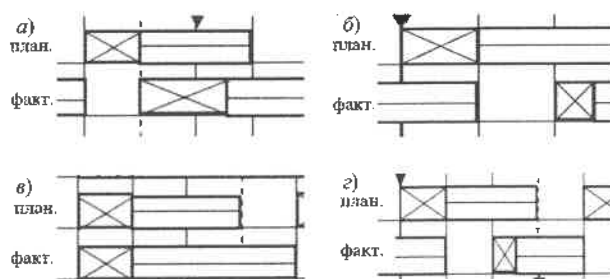


Рисунок 1 – Возможные виды отклонений в работе сортировочной станции:

- а – фактическое время надвига больше, чем планируемое;
- б – фактическое время надвига меньше, чем планируемое;
- в – фактическое время роспуска больше, чем планируемое;
- г – фактическое время роспуска меньше, чем планируемое

Кроме того, параметры расформируемых составов могут отличаться от расчетных, заложенных в исходном плане:

- надвигаемый состав имеет массу больше разрешенной для надвига одним локомотивом ($Q_c > Q_p$);
- наличие в надвигаемом составе вагонов, которые нельзя распускать с сортировочной горки ($t_{зсг}$);
- наличие в распускаемом составе «плохих бегунов» ($t_{пл.б}$);
- занятость сортировочного пути, размеченного для данного направления.

Основной причиной отсутствия свободных путей для роспуска может быть неэффективное торможение вагонов операторами сортировочной горки, а также обнаружение во время роспуска вагона с плохим бегуном, в результате чего возникает необходимость в просадке пути и дальнейшая невозможность роспуска состава. Также в сортировочном парке могут отсутствовать свободные пути ввиду того, что путь занят готовым к отправлению составом (при сортировочно-отправочном парке).

Анализ идентификаторов отклонений возможен и для других подсистем станции. В дальнейшем планируется более детальное изучение отклонений для каждой подсистемы станции. Рассмотрим различные виды ситуаций, возникающих в других подсистемах железнодорожной станции:

1 Парк прибытия (приемо-отправочный парк):

- количество вагонов в прибывающем составе больше длины пути приема $L_c > L_{п}$;
- нет пути приема.

Отсутствие пути приема на железнодорожной станции может возникнуть из-за занятости пути приема другим подвижным составом, подлежащим расформированию в ближайшее время, а также поездом, готовым к отправлению (приемо-отправочный парк):

Рассматриваются также причины простоя подвижного состава, подлежащего расформированию сверх нормы времени обработки состава. К таким причинам можно отнести:

- недостаточное количество работников, занимающихся обработкой состава по прибытии;
- в составе находятся вагоны, требующие более детального осмотра (верховой осмотр, большое количество пломб), в результате чего увеличивается время обработки состава;
- осматривается состав, требующий первоочередного осмотра, при прибытии одновременно нескольких поездов.

2 Парк отправления: готовность нескольких составов на отправление одновременно.

В зависимости от идентификации отклонений необходимо применять различные виды корректировок. Рассмотрим следующие виды корректировок, применяемых на железнодорожных станциях:

1) парк прибытия (приемо-отправочный парк):

- изменить путь приема;
- вытянуть состав на сортировочную горку для дальнейшего роспуска, а на его место принять прибывающий поезд;

– оградить состав с помощью маневрового локомотива;

– увеличить количество работников, занимающихся обработкой состава по прибытии;

– отправить бригады осматривщиков на более приоритетный состав для осмотра;

– остановить роспуск на сортировочной горке для закрепления состава;

– закрепить состав во время осаживания вагонов маневровым локомотивом;

– переставить транзитный поезд в сортировочно-отправочный парк для освобождения пути приема;

2) сортировочный парк (сортировочно-отправочный парк):

– производить роспуск с помощью двух локомотивов;

– вытянуть часть состава на сортировочную горку;

– снять вагоны, которые нельзя распускать с горки с помощью второго маневрового локомотива;

– осадить вторым маневровым локомотивом вагоны на пути, на котором нет места для распускаемых вагонов;

– осадить вагоны, которые нельзя распускать с горки, вагоны с плохим бегуном;

– распутить вагоны на другой путь, на котором в процессе роспуска нет вагонов;

– переставить готовый поезд в парк отправления для освобождения пути роспуска;

3) парк отправления:

– увеличить количество работников, занимающихся обработкой состава по отправлению;

– отправить бригады осматривщиков на более приоритетный состав для осмотра.

В результате возникновения возможных отклонений в технологии от плановых значений, а также применения различных видов корректировок в оперативное планирование и управление маневровой работой на железнодорожной станции, исполненный план-график работы сортировочной станции может существенно отличаться от планового графика работы станции. Предлагается следующая форма ведения совмещенного планового и исполненного графиков работы сортировочной станции (рисунок 2).

В настоящее время возникновение данных отклонений в работе сортировочной станции определяет маневровый диспетчер, который оперативно принимает решение о применении различных видов корректировок в оперативном планировании и управлении маневровой работой железнодорожной станции.

В условиях автоматизации маневровой работы возможно распознавание возникающих отклонений и принятие решений, а также внесение корректировок в оперативное планирование и управление работой на железнодорожной станции. Для этого необходимо разработать модуль, который будет иметь возможность самообучаться [6]. В результате чего данный модуль будет сам выбирать оптимальные виды вносимых корректировок в оперативное планирование и управление работой в зависимости от возникающих отклонений, что будет исключать влияние человеческого фактора в неверно принятом решении маневровым диспетчером из-за высокого уровня загрузки и отсутствия достаточного времени на принятие решения.

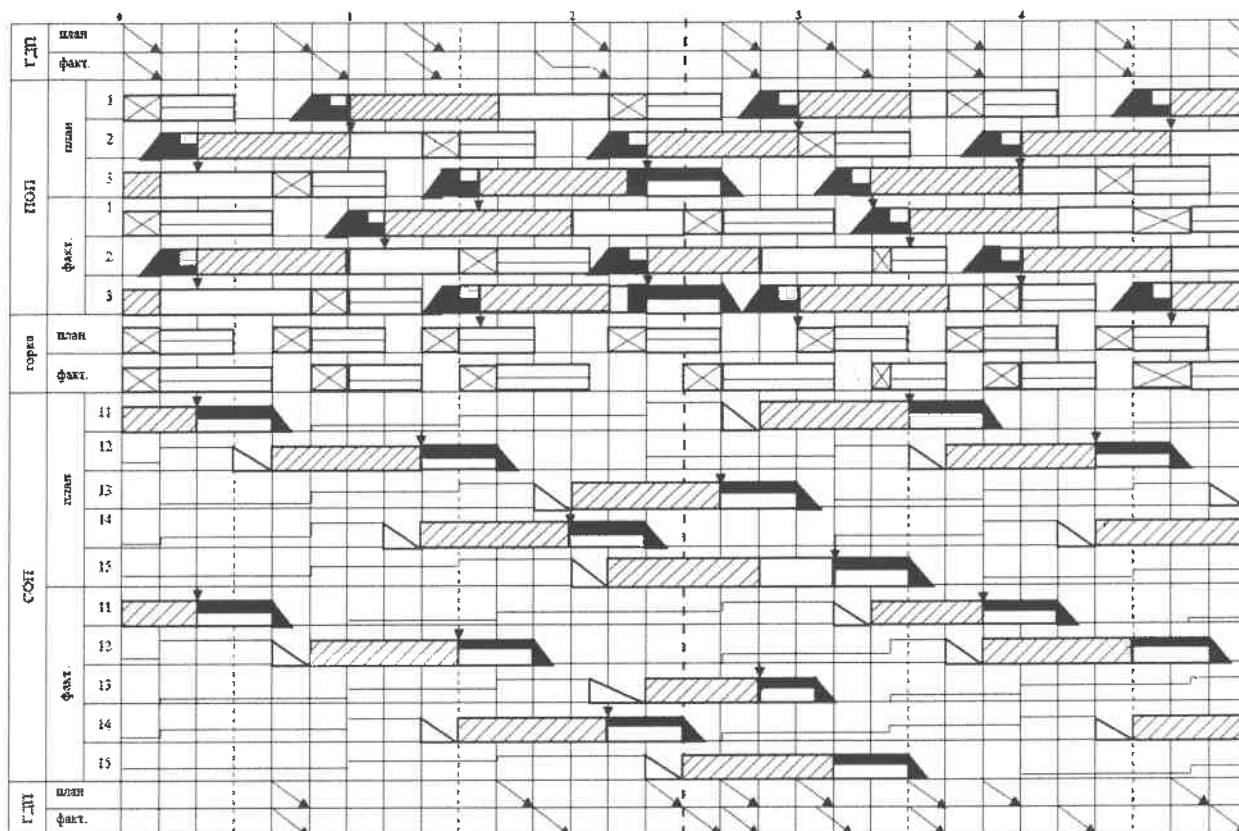


Рисунок 2 – Совмещенный плановый и исполненный график работы станции

Для функционирования данного модуля необходимо, чтобы он мог автоматизированно определять начало и окончание каждой технологической операции, выполняемой на железнодорожной станции. На сортировочной станции осуществляется множество различных технологических операций, связанных с обработкой и формированием поездов.

В настоящее время определение начала и окончания технологических операций в основном выполняется дежурным оперативным работником с помощью визуального контроля, передачи информации друг другу по коммутатору, а также отдачи команд и получения доклада от причастных работников. Операции, определяющие начало и окончание основных технологических операций, выполняемых на сортировочной станции, представлены в таблице 1.

В качестве примера был рассмотрен состав, длина которого не превышает полезной длины пути, вес которого не превышает максимально допустимого для надвига на сортировочную горку. На станции применена система микропроцессорной централизации (далее – МПЦ). На сортировочной горке работает один маневровый локомотив. В составе отсутствуют вагоны, которые нельзя спускать с сортировочной горки или пропускать через сортировочную горку. Коммерческий и технический осмотр состава на станции по прибытии и перед отправлением производится параллельно. Сортировочная горка механизированная. Закрепление состава производится дежурным работником с использованием тормозных башмаков. На станции предусмотрены приемо-отправочный и сортировочно-отправочный парки.

Таблица 1 – Фактическое определение начала и окончания технологической операции

Операция	Начало	Окончание
Прибытие	Доклад дежурного по станции (ДСП) об отправлении (проследовании) поезда с соседней станции	Визуальный контроль освобождения блок-участка перед путем приема на экране МПЦ (команда машинисту поезда на остановку)
Закрепление	Команда ДСП на закрепление состава	Доклад регулировщика о закреплении состава
Выезд локомотива	Команда машинисту поездного локомотива ДСП на отцепку локомотива от состава и выезд с пути приема (отцепку локомотива от состава)	Визуальный контроль занятия первого блок-участка после пути приема на экране МПЦ (доклад машиниста поездного локомотива об отцепке от состава)
Осмотр состава	Ограждение ДСП пути с прибывшим составом на пульте МПЦ	Снятие ограждения пути с прибывшим и осмотренным составом и доклад об этом ДСП по любой из возможных средств связи
Заезд локомотива	Команда ДСП на заезд маневрового локомотива под состав	Визуальный контроль об освобождении блок-участка около пути, на котором стоит состав на экране МПЦ
Уборка закрепления	Команда ДСП регулировщику скорости на снятие закрепления	Доклад регулировщика ДСП о снятии закрепления

Окончание таблицы 1

Операция	Начало	Окончание
Вытягивание	Команда ДСП машинисту маневрового локомотива на вытягивание состава	Визуальный контроль об освобождении блок-участка перед вытяжным путем
Надвиг	Команда ДСПГ машинисту маневрового локомотива на надвиг состава	Прохождение первым вагоном горба горки (визуальный контроль с поста ГАЦ)
Роспуск	Прохождение первым вагоном горба горки (визуальный контроль с поста ГАЦ)	Заезд последнего отцепа на сортировочный путь (визуальный контроль с поста ГАЦ)
Окончание формирования	Команда ДСПГ машинисту маневрового локомотива на заезд на путь для окончания формирования	Ограждение состава ДСПГ и доклад оператору вагонников о готовности поезда
Заезд локомотива	Команда ДСП машинисту поездного локомотива на заезд на путь отправления состава	Доклад ДСПП о снятии закрепления. Визуальный контроль освобождения блок-участка перед путем отправления на экране МПЦ
Обработка состава	Ограждение состава ДСПГ и доклад оператору вагонников о готовности поезда, а также заезд поездного локомотива под состав	Снятие ограждения, доклад о готовности поезда к отправлению
Отправление	Команда ДСП на отправлении поезда	Доклад ДСП соседней станции о прибытии (проезде) поезда

Однако в настоящее время на железнодорожной станции применяется множество автоматизированных систем управления, с помощью которых можно определить начало и окончание технологической операции. Операции, определяющие начало и окончание основных технологических операций, выполняемых на сортировочной станции с помощью автоматизированных

систем, применяемых на железнодорожной станции, представлены в таблице 2.

Также в таблице 2 приведены основные автоматизированные системы, применяемые на железнодорожном транспорте, из которых можно получать информацию о начале и окончании операций, выполняемых на сортировочной станции, для автоматизированного оперативного планирования работы станции.

Таблица 2 – Определение начала и окончания технологических операций с помощью автоматизированных систем

Операция	Расчетная формула	Начало операции	Конец операции
Прибытие состава	$\begin{cases} t_{пр.с.ф} = t_{ок.пр.с.ф} - t_{нач.пр.с.ф} \\ t_{пр.с.пл} = t_{ок.пр.с.пл} - t_{нач.пр.с.пл} \\ t_{пр.с.ф} = t_{пр.с.пл} \\ t_{пр.с.ф} < t_{пр.с.пл} \\ t_{пр.с.ф} > t_{пр.с.пл} \end{cases}$	Автоматизированное рабочее место дежурного по станции (далее – АРМ ДСП) (сообщение об отправлении с соседней станции)	АРМ ДСП (сообщение о прибытии на станцию)
Закрепление состава	$\begin{cases} t_{зак.с.ф} = t_{ок.зак.с.ф} - t_{нач.зак.с.ф} \\ t_{зак.с.пл} = t_{ок.зак.с.пл} - t_{нач.зак.с.пл} \\ t_{зак.с.ф} = t_{зак.с.пл} \\ t_{зак.с.ф} < t_{зак.с.пл} \\ t_{зак.с.ф} > t_{зак.с.пл} \end{cases}$	В данном примере нет автоматизированной системы, с помощью которой можно определить время начала операции	В данном примере нет автоматизированной системы, с помощью которой можно определить время конца операции
Выезд локомотива	$\begin{cases} t_{в.лок.ф} = t_{ок.в.лок.ф} - t_{нач.в.лок.ф} \\ t_{в.лок.пл} = t_{ок.в.лок.пл} - t_{нач.в.лок.пл} \\ t_{в.лок.ф} = t_{в.лок.пл} \\ t_{в.лок.ф} < t_{в.лок.пл} \\ t_{в.лок.ф} > t_{в.лок.пл} \end{cases}$	МПЦ (наличие белого сигнала на маневровом светофоре)	МПЦ (занятие первого блок-участка впереди пути, на который прибывал состав)
Осмотр состава по прибытии	$\begin{cases} t_{осм.пр.ф} = t_{ок.осм.пр.ф} - t_{нач.осм.пр.ф} \\ t_{осм.пр.пл} = t_{ок.осм.пр.пл} - t_{нач.осм.пр.пл} \\ t_{осм.пр.ф} = t_{осм.пр.пл} \\ t_{осм.пр.ф} < t_{осм.пр.пл} \\ t_{осм.пр.ф} > t_{осм.пр.пл} \end{cases}$	Автоматизированное рабочее место пункта технического осмотра (далее – АРМ ПТО), автоматизированное рабочее место пункта коммерческого осмотра (далее – АРМ ПКО) (сообщение об ограждении состава)	АРМ ПТО, ПКО (сообщение о снятии ограждения состава)
Вытягивание состава	$\begin{cases} t_{выт.с.ф} = t_{ок.выт.с.ф} - t_{нач.выт.с.ф} \\ t_{выт.с.пл} = t_{ок.выт.с.пл} - t_{нач.выт.с.пл} \\ t_{выт.с.ф} = t_{выт.с.пл} \\ t_{выт.с.ф} < t_{выт.с.пл} \\ t_{выт.с.ф} > t_{выт.с.пл} \end{cases}$	МПЦ (наличие белого сигнала на маневровом светофоре)	МПЦ (освобождение блок-участка перед вытяжкой)
Надвиг состава	$\begin{cases} t_{над.с.ф} = t_{ок.над.с.ф} - t_{нач.над.с.ф} \\ t_{над.с.пл} = t_{ок.над.с.пл} - t_{нач.над.с.пл} \\ t_{над.с.ф} = t_{над.с.пл} \\ t_{над.с.ф} < t_{над.с.пл} \\ t_{над.с.ф} > t_{над.с.пл} \end{cases}$	Горочная автоматическая централизация (далее – ГАЦ) (наличие разрешающего показания на горочном светофоре)	ГАЦ (занятие блок-участка на горбе горки)

Операция	Расчетная формула	Начало операции	Конец операции
Роспуск состава	$\begin{cases} t_{рос.с.ф} = t_{ок.рос.с.ф} - t_{нач.рос.с.ф} \\ t_{рос.с.пл} = t_{ок.рос.с.пл} - t_{нач.рос.с.пл} \\ t_{рос.с.ф} = t_{рос.с.пл} \\ t_{рос.с.ф} < t_{рос.с.пл} \\ t_{рос.с.ф} > t_{рос.с.пл} \end{cases}$	ГАЦ (занятие первого блок-участка после горба горки)	ГАЦ (освобождение блок-участка перед путем роспуска при следовании последнего отцепя)
Окончание формирования	$\begin{cases} t_{ок.форм.ф} = t_{ок.ок.форм.ф} - t_{нач.ок.форм.ф} \\ t_{ок.форм.пл} = t_{ок.ок.форм.пл} - t_{нач.ок.форм.пл} \\ t_{ок.форм.ф} = t_{ок.форм.пл} \\ t_{ок.форм.ф} < t_{ок.форм.пл} \\ t_{ок.форм.ф} > t_{ок.форм.пл} \end{cases}$	ГАЦ (белый сигнал на маневровом светофоре)	ГАЦ (освобождение последнего блок-участка на путь следования)
Осмотр состава перед отправлением	$\begin{cases} t_{осм.отп.ф} = t_{ок.осм.отп.ф} - t_{нач.осм.отп.ф} \\ t_{осм.отп.пл} = t_{ок.осм.отп.пл} - t_{нач.осм.отп.пл} \\ t_{осм.отп.ф} = t_{осм.отп.пл} \\ t_{осм.отп.ф} < t_{осм.отп.пл} \\ t_{осм.отп.ф} > t_{осм.отп.пл} \end{cases}$	АРМ ПТО, ПКО (сообщение об ограждении состава)	АРМ ПТО, ПКО (сообщение о снятии ограждения состава)
<i>Примечание</i> – $t_{пр.с.ф}$ – фактическое время прибытия состава; $t_{пр.с.пл}$ – плановое время прибытия состава; $t_{зак.с.ф}$ – фактическое время закрепления состава; $t_{зак.с.пл}$ – плановое время закрепления состава; $t_{в.лок.ф}$ – фактическое время выезда локомотива; $t_{в.лок.пл}$ – плановое время выезда локомотива; $t_{осм.пр.ф}$ – фактическое время осмотра состава по прибытии; $t_{осм.пр.пл}$ – плановое время осмотра состава по прибытии; $t_{выт.с.ф}$ – фактическое время вытязывания состава; $t_{выт.с.пл}$ – плановое время вытязывания состава; $t_{над.с.ф}$ – фактическое время надвига состава; $t_{над.с.пл}$ – плановое время надвига состава; $t_{рос.с.ф}$ – фактическое время роспуска состава; $t_{рос.с.пл}$ – плановое время роспуска состава; $t_{ок.форм.ф}$ – фактическое время окончания формирования состава; $t_{ок.форм.пл}$ – плановое время окончания формирования состава; $t_{осм.отп.ф}$ – фактическое время осмотра состава перед отправлением; $t_{осм.отп.пл}$ – плановое время осмотра состава перед отправлением.			

На основании данных приведенных выше таблиц можно сделать вывод, что для создания модуля, который сможет автоматизировано планировать оперативную работу на железнодорожной станции, необходимо максимально оснастить железнодорожную станцию автоматизированными системами, из которых возможно брать информацию о начале и окончании технологических операций. Кроме того, требуется интегрировать между собой уже имеющиеся автоматизированные системы, применяемые на железнодорожных станциях, для полноценного использования находящейся в них информации с целью автоматизированного планирования и управления оперативной работой железнодорожной станции.

Список литературы

- 1 Эксплуатация железных дорог / под ред. проф. В. В. Повороженко, проф. В. М. Акулиничева. – М. : Транспорт, 1974. – 472 с.
- 2 Алгоритм сменно-суточного планирования формирования и пропуска поездов методом оптимального сетевого потока / А. Б. Шабунин, А. К. Такмазян, А. В. Есаков, С. В. Зайцев // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математиче-

ское моделирование (ИСУЖТ-2019) : труды восьмой научно-технической конференции, Москва, 21 нояб. 2019 г. – М. : Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте, 2019. – С. 42–46. – EDN Q1YKGE.

3 Кузнецов, В. Г. Технология работы сортировочной станции : пособие по курсовому проектированию / В. Г. Кузнецов, А. А. Ерофеев, Е. А. Фёдоров ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2022. – 126 с.

4 Управление эксплуатационной работой на железнодорожном транспорте : учеб. для студентов вузов ж.-д. транспорта. В 2 т. Т. 1 / под ред. В. И. Ковалева и А. Т. Осминина – М. : Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2009. – 263 с.

5 Белых, А. А. Оценка влияния искусственного интеллекта на оперативное управление участковой железнодорожной станции / А. А. Белых, В. В. Широкова // Национальная ассоциация ученых. – 2020. – № 56-1(56). – С. 36–41. – DOI: 10.31618/nas.2413-5291.2020.1.56.229.

6 Ерофеев, А. А. Интеллектуальная система управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте : монография / А. А. Ерофеев ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2022. – 407 с. – ISBN 978-985-554-972-8.

Получено 05.05.2025

A. A. Erofeev, A. A. Naumenko. Identification of anomalies in the intelligent control system of a sorting station.

The article outlines the existing technology employed at a sorting station. It identifies the primary types of deviations that occur during the maneuvering operations, as well as the main types of adjustments implemented in response to these deviations. A scheduled and executed work plan and timeline of the station are presented. The article describes the essential actions that delineate the commencement and conclusion of technological operations performed at the sorting station, as well as the automated systems that facilitate the determination of the start and end of these key technological processes. Furthermore, it is necessary to establish requirements for the development of an intelligent management system that will be capable of identifying potential deviations and making decisions to enhance the operational efficiency of the sorting station.

УДК 656.222.3:656.2.07

В. Я. НЕГРЕЙ, доктор технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель,
К. М. ШКУРИН, Белорусская железная дорога, г. Минск

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ВАГОНОПОТОКОВ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА

Проанализирована методика оценки колебаний параметров, характеризующих эффективность системы организации вагонопотоков, в условиях неопределенности продолжительности выполнения технологических операций. Показано, что с учетом того, что неопределенность транзитного вагонопотока без переработки существенно ниже, чем у транзитного вагонопотока с переработкой, целесообразно повышать на направлении долю поездов, которые проследуют технические станции без переработки.

Оптимизация системы организации вагонопотоков в случаях, когда известны все условия $(\alpha_1, \alpha_2, \dots)$ и любой набор управленческих действий $(x_1, x_2, \dots)$ позволяет однозначно определить критерий оптимальности, является наиболее простой и не часто встречается в практике. Более типичной является ситуация, когда не все условия однозначно известны, а содержат элемент неопределенности. Например, простой конкретного вагона состава поезда под накоплением колеблется от нескольких минут до 12 и более часов. Возникают случаи продолжительного простоя сформированного состава в ожидании подачи поезда локомотива или нитки графика. Процесс проследования вагонопотока по железнодорожному участку также подвержен колебаниям, хотя и в несколько меньшей степени. Высокий уровень неопределенности системы организации вагонопотоков связан с колебаниями транспортных потоков.

Многочисленные исследования, выполненные в университетах и научно-исследовательских организациях [4], позволили установить законы распределения суточных колебаний вагонопотоков. Наибольшее распространение получил нормальный закон:

$$P(n) = \frac{1}{\sigma_n \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{\mu^2}{2}\right), \quad (1)$$

при значении μ , определяемом по формуле

$$\mu = \frac{n - \bar{n}}{\sigma_n}, \quad (2)$$

где σ_n – среднее квадратическое отклонение размера вагонопотока (поездопотока); $\bar{n}$ – среднее значение размера вагонопотока (поездопотока).

Рекомендуемые зоны действия нормального и других законов распределения суточных колебаний транспортных потоков приведены в [4].

Аналогичные исследования выполнены для описания колебаний продолжительности нахождения вагонов на станциях и участках. В частности, колебания продолжительности нахождения на станции транзитного вагона описываются нормальным (реже логнормальным) законом распределения, т. е.

$$P(t_{cn}) = \frac{1}{\sigma_{cn} \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(t_{cn} - \bar{t}_{cn})^2}{2\sigma_{cn}^2}\right), \quad (3)$$

где σ_{cn} – среднее квадратическое отклонение продолжительности нахождения транзитного вагона с пере-

работкой на технической станции; t_{cn} – продолжительность нахождения отдельного транзитного вагона с переработкой на технической станции; $\bar{t}_{cn}$ – средняя продолжительность нахождения транзитного вагона с переработкой на технической станции.

Используя свертку распределений, колебания суммарной продолжительности нахождения вагона после прохода q станций можно также описать нормальным законом распределения с параметрами:

– математическое ожидание:

$$\bar{t}_{cn} = \bar{t}_{cn1} + \bar{t}_{cn2} + \dots + \bar{t}_{cnq}, \quad (4)$$

– среднее квадратическое отклонение:

$$\sigma_{cn} = \sqrt{\sigma_{cn1}^2 + \sigma_{cn2}^2 + \dots + \sigma_{cnq}^2}. \quad (5)$$

Продолжительность нахождения на станции транзитного вагона без переработки определяется аналогичным образом. В частности, при нормальном законе распределения

$$P(t_{6n}) = \frac{1}{\sigma_{6n} \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(t_{6n} - \bar{t}_{6n})^2}{2\sigma_{6n}^2}\right). \quad (6)$$

После прохождения q станций участка математическое ожидание продолжительности нахождения на участке транзитного вагона без переработки

$$\bar{t}_{6n} = \bar{t}_{6n1} + \bar{t}_{6n2} + \dots + \bar{t}_{6nq}. \quad (7)$$

Среднее квадратическое отклонение продолжительности нахождения на участке транзитного вагона без переработки

$$\sigma_{6n} = \sigma_{6n1} + \sigma_{6n2} + \dots + \sigma_{6nq}. \quad (8)$$

Среднее квадратическое отклонение σ_{6n} и σ_{cn} определяется по формуле

$$\sigma_{np} = a \bar{t}_{np}^b, \quad (9)$$

где a и b – эмпирические коэффициенты, которые зависят от категории поезда; $\bar{t}_{np}$ – средняя продолжительность нахождения транзитного вагона без переработки на технической станции.

Существенное влияние на синергетический критерий оказывает неопределенность продолжительности нахождения поездов на направлении. Для нормального закона распределения колебаний продолжительности нахождения поезда на направлении

$$H(\bar{t}) = \log(\sigma_i \sqrt{2\pi e}), \quad (10)$$

где $H(\bar{t})$ – неопределенность суммарной продолжительности нахождения поезда на направлении; σ_i – среднее квадратическое отклонение продолжительности нахождения поезда на технических станциях направления,

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_{i,1}^2 + \sigma_{i,2}^2 + \dots + \sigma_{i,q-1}^2}, \quad (11)$$

q – количество технических станций на направлении.

Рассмотрим условное железнодорожное направление А–D (рисунок 1), на котором для транзитных поездов, поступающих в переработку, $a = 0,6$, $b = 0,5$. Для транзитных поездов без переработки $a = 0,3$, $b = 0,5$.

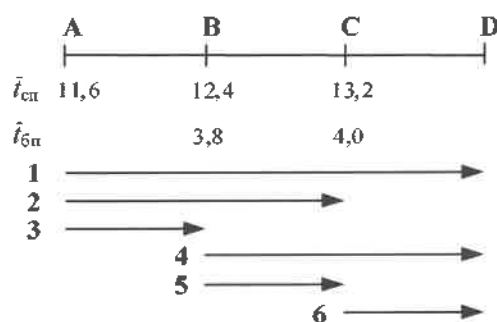


Рисунок 1 – Характеристика направления А–D

Учитывая, что $\bar{t}_{\text{сн}} = 12,4$ ч, а $\bar{t}_{\text{бп}} = 4,0$ ч,

$$\sigma_{\text{сн}} = 0,6 \cdot 12,4^{0,5} = 2,1 \text{ ч},$$

$$\sigma_{\text{бп}} = 0,3 \cdot 4,0^{0,5} = 0,6 \text{ ч}.$$

Если струя № 1 продвигается по участковой схеме (перерабатывается на станциях В и С), то средняя продолжительность простоя на станциях

$$\bar{t}_{\text{сн},1} = 11,6 + 12,4 + 13,2 = 37,2 \text{ ч}.$$

Среднее квадратическое отклонение

$$\sigma_{\text{сн},1} = \sqrt{(0,6 \cdot 11,6^{0,5})^2 + (0,6 \cdot 12,4^{0,5})^2 + (0,6 \cdot 13,2^{0,5})^2} =$$

$$= \sqrt{4,18 + 4,46 + 4,75} = 3,66 \text{ ч}.$$

Когда струя № 1 выделяется в самостоятельное назначение, то

$$\bar{t}_{\text{тр},1} = 11,6 + 3,8 + 4,0 = 19,4 \text{ ч}.$$

Среднее квадратическое отклонение

$$\sigma_{\text{тр},1} = \sqrt{(0,6 \cdot 11,6^{0,5})^2 + (0,3 \cdot 3,8^{0,5})^2 + (0,3 \cdot 4,0^{0,5})^2} =$$

$$= \sqrt{4,18 + 0,34 + 0,36} = 2,21 \text{ ч}.$$

Используя схему, приведенную на рисунке 2, для оценки экономии от проследования струй транзитом найдем разность двух случайных величин $t_{\text{сн}}^*$ и $t_{\text{тр}}^*$:

$$\Delta t^* = t_{\text{сн}}^* - t_{\text{тр}}^*. \quad (12)$$

Подставляя в формулу (12) значения случайных величин, получим:

$$P(\Delta t^*) = P(t_{\text{сн}}^*) - P(t_{\text{тр}}^*). \quad (13)$$

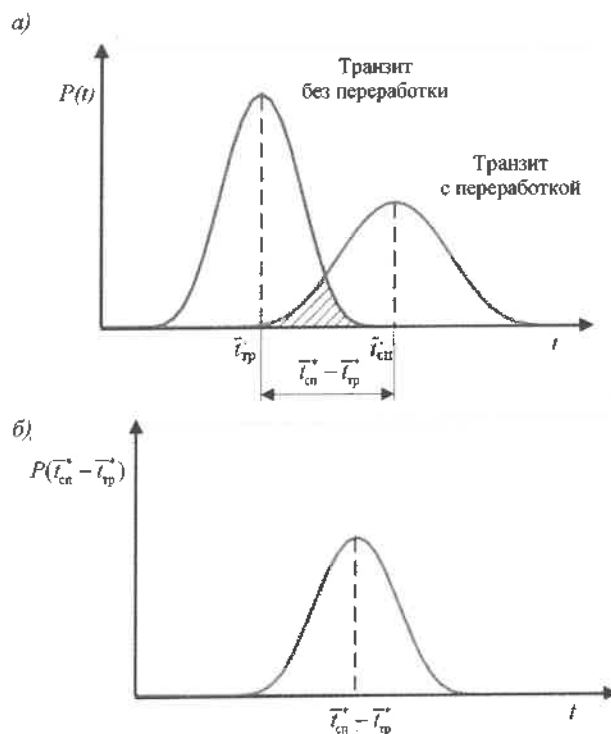


Рисунок 2 – Определение экономии продолжительности нахождения вагона на технических станциях

Разность двух случайных величин, описываемых нормальным законом распределения, также описывается нормальным законом [4] с параметрами:

– математическое ожидание:

$$\Delta \bar{t}^* = \bar{t}_{\text{сн}}^* - \bar{t}_{\text{тр}}^*. \quad (14)$$

– среднее квадратическое отклонение

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_{\text{сн}}^2 + \sigma_{\text{тр}}^2}. \quad (15)$$

Для рассмотренного выше примера

$$\Delta \bar{t}^* = 37,2 - 19,4 = 17,8 \text{ ч};$$

$$\sigma_i = \sqrt{3,66^2 + 2,21^2} = 4,27 \text{ ч}.$$

Таким образом, неопределенность синергетического эффекта от проследования технических станций без переработки значительно ниже неопределенности потока, следующего в участковых поездах на направлении. Поэтому с целью повышения эффективности системы организации вагонопотоков, снижения вероятности возникновения сбоев в транспортной работе целесообразно повышать транзитность вагонопотоков.

На примере направления А–D, на котором показана мощность вагонопотоков (рисунок 3), рассмотрим влияние повышения транзитности вагонопотоков на стабилизацию перевозочного процесса с учетом колебаний как продолжительности времени нахождения вагонов на технических станциях, так и продолжительности их следования по железнодорожным участкам.

В рассматриваемом примере расстояния между станциями равны и составляют 150 км; связанные с накоплением состава поезда затраты st на всех технических станциях составляют 600 ваг·ч. Средний состав поезда, следующего по направлению А–D, равен 60 вагонам.

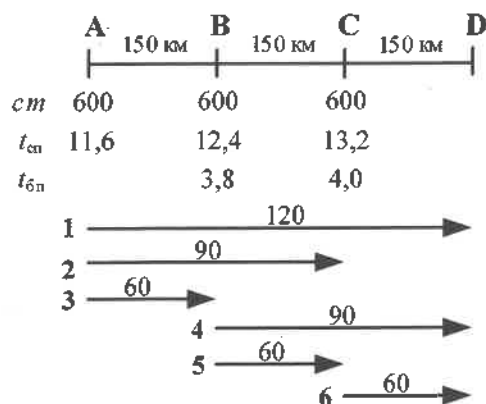


Рисунок 3 – Характеристика направления А–D

Для расчетов принимаем, что средняя скорость участковых поездов на направлении А–D $v_{уч}$ составляет 50,0 км/ч, а скорость сквозных поездов $v_{скв}$ превышает её на 10,0 % и составляет 55,0 км/ч.

Для упрощения расчетов рассмотрим исключительно затраты вагоно-часов, связанные с пропуском вагонопотока по направлению А–D, не учитывая соответствующие затраты локомотиво- и бригадо-часов. Выполним оценку затрат вагоно-часов для двух случаев – при пропуске всего вагонопотока по направлению в участковых поездах (вариант 1) и при выделении в самостоятельные назначения струй вагонопотока А–D, А–С, В–D (вариант 2). Графическая интерпретация вариантов пропуска вагонопотоков 1 и 2 представлена на рисунке 4.

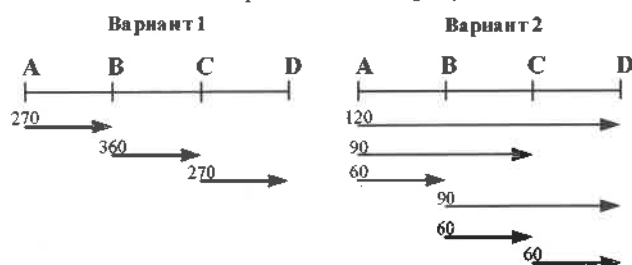


Рисунок 4 – Графическая интерпретация вариантов пропуска вагонопотоков

В таблице 1 приведена оценка затрат вагоно-часов, связанных с выбранной системой пропуска вагонопотоков (варианты пропуска вагонопотока 1 и 2), с учетом: затрат на накопление составов поездов на станциях А, В и С ($B_{нак}^A$, $B_{нак}^B$ и $B_{нак}^C$ соответственно); затрат, связанных с простоем на станциях В и С транзитных вагонов с переработкой ($B_{сп}^B$ и $B_{сп}^C$) и без переработки ($B_{бп}^B$ и $B_{бп}^C$); затрат, связанных с проследованием вагонов по участкам А–В, В–С и С–D в участковых поездах ($B_{уч}^{AB}$, $B_{уч}^{BC}$ и $B_{уч}^{CD}$) и в сквозных поездах ($B_{скв}^{AB}$, $B_{скв}^{BC}$ и $B_{скв}^{CD}$).

Из таблицы 1 видно, что использование варианта 2 в сравнении с вариантом 1, предусматривающим пропуск всего вагонопотока в участковых поездах, обеспечивает ежесуточную экономию в размере 2134 ваг·ч.

Рассмотрим влияние на стабилизацию параметров перевозочного процесса варианта 2, который в сравнении с вариантом 1 обеспечивает большую транзитность вагонопотоков.

Таблица 1 – Сравнение вариантов пропуска вагонопотоков по направлению А–D

Элемент перевозочного процесса	Затраты вагоно-часов	
	по варианту 1	по варианту 2
$B_{нак}^A$	600	1 800
$B_{уч}^{AB}$	810	180
$B_{скв}^{AB}$	0	573
$B_{нак}^B$	600	1 200
$B_{сп}^B$	2 604	0
$B_{бп}^B$	0	798
$B_{уч}^{BC}$	1 080	180
$B_{скв}^{BC}$	0	818
$B_{нак}^C$	600	600
$B_{сп}^C$	2 772	0
$B_{бп}^C$	0	840
$B_{уч}^{CD}$	810	180
$B_{скв}^{CD}$	0	573
Всего	9 876	7 742

Для расчетов принимаем, что для элементов перевозочного процесса, связанных с работой технических станций (накопление составов, переработка транзитных вагонов), среднееквадратическое отклонение σ составляет 50 % от математического ожидания времени выполнения соответствующих операций M . Поскольку в большинстве случаев процесс проследования вагонопотоков по железнодорожному участку характеризуется меньшей амплитудой колебаний параметров, для продолжительности следования вагонов по участку величину σ принимаем на уровне 30 % от M .

Оценка затрат вагоно-часов при выборе различных вариантов пропуска вагонопотоков с учетом величины среднееквадратического отклонения значений параметров перевозочного процесса σ приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение вариантов пропуска вагонопотоков по направлению А–D с учетом среднееквадратического отклонения значений параметров

Элемент перевозочного процесса	Варианты пропуска вагонопотока			
	вариант 1		вариант 2	
	M , ваг·ч	σ , ваг·ч	M , ваг·ч	σ , ваг·ч
$B_{нак}^A$	600	300	1 800	900
$B_{уч}^{AB}$	810	243	180	54
$B_{скв}^{AB}$	0	0	573	172
$B_{нак}^B$	600	300	1 200	600
$B_{сп}^B$	2 604	1 302	0	0
$B_{бп}^B$	0	0	798	399
$B_{уч}^{BC}$	1 080	324	180	54
$B_{скв}^{BC}$	0	0	818	245
$B_{нак}^C$	600	300	600	300
$B_{сп}^C$	2 772	1 386	0	0
$B_{бп}^C$	0	0	840	420
$B_{уч}^{CD}$	810	243	180	54
$B_{скв}^{CD}$	0	0	573	172
Всего	9 876	2 027	7 742	1 313

Общее среднеквадратическое отклонение при выборе вариантов 1 и 2 рассчитано путем вычисления квадратного корня из суммы дисперсий отдельных элементов:

$$\sigma_{\text{общ}} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \dots + \sigma_n^2}. \quad (16)$$

В рассмотренном случае среднеквадратическое отклонение затрат вагоно-часов при выборе варианта организации пропуска вагонопотоков, обеспечивающего наибольшую транзитность вагонопотоков, составило 1 313 ваг·ч, или 17,0 % от математического ожидания затрат вагоно-часов. При этом в случае пропуска всего вагонопотока по направлению А–Д в участковых поездах среднеквадратическое отклонение затрат вагоно-часов составляет 2 027 ваг·ч, или 20,5 % от математического ожидания затрат вагоно-часов.

Таким образом, в рассмотренном варианте повышение транзитности вагонопотоков обеспечило некоторую стабилизацию перевозочного процесса, что положительно сказывается на эффективности принятия управленческих решений.

Расчеты, проведенные для других направлений, показывают, что повышение достоверности расчетов при выборе оптимального варианта плана формирования поездов, достигаемое за счет учета неопределенности

параметров перевозочного процесса, приводит к увеличению транзитности вагонопотоков.

Следует отметить, что величина достигнутого эффекта стабилизации перевозочного процесса в значительной степени зависит от характеристик рассматриваемого железнодорожного направления, и на более протяженных железнодорожных направлениях с большим количеством технических станций достигаемый эффект возрастает.

Список литературы

- 1 Акулиничев, В. М. Математические методы в эксплуатации железных дорог / В. М. Акулиничев, В. А. Кудрявцев, А. Н. Корешков. – М. : Транспорт, 1981. – 223 с.
- 2 Негрей, В. Я. Развитие методов анализа перевозочного процесса / В. Я. Негрей, К. М. Шкурин // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2016. – № 2 (33). – С. 23–25.
- 3 Негрей, В. Я. Эффективность внедрения адаптивно-регулярной системы организации вагонопотоков / В. Я. Негрей, К. М. Шкурин // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2014. – № 1 (28). – С. 52–54.
- 4 Правдин, Н. В. Прогнозирование грузовых потоков / Н. В. Правдин, М. Л. Дыканюк, В. Я. Негрей. – М. : Транспорт, 1987. – 247 с.
- 5 Шапкин, И. Н. Нормирование и прогнозирование на железных дорогах: методы, алгоритмы, технологии, расчеты / И. Н. Шапкин, Р. А. Юсипов, Е. М. Кожанов; под ред. И. Н. Шапкина. – М. : ИСПИ РАН, 2007. – 255 с.

Получено 04.04.2025

V. J. Negrey, K. M. Shkurin. The study of car flow organisation system in conditions of uncertainty of transportation process parameters.

The methodology for assessing fluctuations of parameters characterizing car flow organisation system efficiency is analyzed in conditions under which the duration of technological operations is uncertain. It is shown that given that the uncertainty of transit car flow without processing is significantly lower than that of transit car flow with processing, it is advisable to increase the share of through-trains, which pass technical stations without processing.

УДК 691.32:624.012.45/46

А. А. ВАСИЛЬЕВ, кандидат технических наук, М. И. ТКАЧЕВА, аспирант, К. Э. АГЕЕВА, магистрант, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; В. В. ЛОГВИН, кандидат технических наук, Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАГИ ПРИ ЕЕ ИСПАРЕНИИ ПО СЕЧЕНИЮ БЕТОНА КЛАССА ПО ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ $C^{20}_{/25}$

Показана значимость исследования процессов влагонасыщения и испарения по сечению бетонов в развитии карбонизации бетона. Выполнено исследование методом измерения электросопротивления кинетики распределения влаги во времени по сечению бетона класса по прочности на сжатие $C^{20}_{/25}$. Получены графические зависимости изменения электросопротивления при испарении влаги по сечению класса по прочности на сжатие $C^{20}_{/25}$ для граничных значений времени и кинетики испарения влаги по сечению для граничных значений сечений. Предложена математическая зависимость изменения электросопротивления во времени по сечению бетона класса по прочности на сжатие $C^{20}_{/25}$. Показано, что наибольшая скорость переноса влаги присутствует в поверхностных слоях бетона, определяя скорость карбонизации защитного слоя бетона.

Введение. Карбонизация бетона – один из важнейших факторов, определяющих техническое состояние и его изменение во времени подавляющего большинства железобетонных элементов (ЖБЭ) и конструкций (ЖБК), эксплуатирующихся в любых атмосферных средах. В многочисленных работах [1–6] показано, что общепринятое положение о линейном распространении карбонизации по сечению бетона и его конечном характере во времени не просто ошибочно, оно приводит к неверной оценке состояния защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре и их изменению во времени, соответственно, является причиной неверных оценки и прогнозирования технического состояния ЖБЭ и ЖБК, что зачастую влечёт создание и развитие аварийных ситуаций. В масштабах страны такое состояние вопроса приводит не только к огромным материальным потерям. Простой производства, учебного процесса, лечебных учреждений – это далеко не только материальные потери. А как оценить потерю здоровья, жизни?

Начальная карбонизация бетона в первую очередь определяется количеством использованного цемента, во времени – агрессивностью эксплуатационных условий. Агрессивность эксплуатационной среды – это не только концентрация CO_2 воздуха и степень влажности, это, в первую очередь, частота изменений температуры и влажности, определяющая интенсивность протекания реакции карбонизации в зоне взаимодействия CO_2 воздуха с $Ca(OH)_2$ поровой жидкости бетона [1, 3, 7, 8].

В условиях открытой атмосферы периодичность увлажнения-высыхания защитного слоя бетона в значительной степени будет определять его карбонизацию, соответственно, нейтрализацию бетона, уменьшение его защитных свойств по отношению к стальной арматуре вплоть до полной потери.

Основная часть. Кинетику распределения влаги по сечению образцов бетона при испарении воды изучали по изменению электросопротивления бетона от времени контакта твердой фазы с газообразной или жидкой средой.

Метод измерения электросопротивления наиболее приемлем для изучения массопереноса жидких элек-

тролитов в твердых пористых телах при смене влажностного режима и температуры, поскольку насыщение и испарение поровой влаги сопровождается сменой объема электролита, что изменяет электросопротивление R_s в пористом теле [9].

Растворы электролитов подчиняются закону Ома, подобно проводникам первого рода (металлам).

Закон Ома при расчете на единицу площади поперечного сечения проводника в общем виде [9]

$$I = \frac{E}{\rho}, \quad (1)$$

где I – сила тока, А; E – напряженность электрического поля, В/м; ρ – удельное сопротивление проводника.

Электросопротивление электролита, Ом, прямо пропорционально его длине и обратно пропорционально поперечному сечению, в нашем случае – объему пористого тела бетона [9]:

$$R_s = \rho \frac{l}{S}, \quad (2)$$

где l – длина проводника, см; S – площадь поперечного сечения проводника, cm^2 .

Исследования изменения распределения влаги по сечению бетона в процессе испарения воды проводили на образцах бетона класса по прочности на сжатие $C^{20}_{/25}$.

Состав бетона класса по прочности на сжатие $C^{20}_{/25}$ приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав образцов бетона

В/Ц	Осадка конуса, см	Состав бетонной смеси, кг/м ³			
		Ц	П	Щ	В
0,546	4	334	718	1163	182

Примечание – В/Ц – водоцементное отношение; Ц, П, Щ, В – массы цемента, песка, щебня, воды, добавки, кг.

Для исследований было изготовлено 3 образца – куба бетона с размерами $100 \times 100 \times 100$ мм. При формировании образцов в тело бетона каждого образца заделывали электроды (пластины фольгированного гетинакса, размерами 10×10 мм, т. е. $S = 1 \text{ см}^2$) по оси кубов на расстоянии 5; 25 и 50 мм от боковой грани каждого куба.

После изготовления образцы-кубы подвергали тепловлажностной обработке (ТВО) по стандартному режиму.

Электросопротивление образцов бетона измеряли в соответствии с методикой [9].

При проведении эксперимента применялся измеритель иммитанса цифровой Е7-21. Данный прибор позволяет измерять сопротивление в пределах $10-10^6$ Ом с точностью 0,001 Ом при частоте тока 1000 Гц.

Образцы бетона исследовались в помещении лаборатории, в которой во время эксперимента поддерживались постоянные климатические условия: температура 18 ± 1 °С; относительная влажность воздуха 60–62 %.

Для исследования кинетики испарения влаги образцы бетона погружались в воду до полного водонасыщения, после чего они устанавливались на деревянные подкладки для обеспечения объемного испарения влаги.

Измерения R_s выполняли по порядку расположения электродов от грани к середине образцов.

При проведении эксперимента для получения результатов измерений с достаточной точностью и объективностью соблюдали постоянство площадей поверхности электродов и расстояния между ними.

Измерения электросопротивления бетона проводили по трем образцам. Для построения экспериментальных зависимостей использовали средние значения результатов измерений.

На рисунке 1 приведены результаты изменения показателя R_s по сечению образцов бетона.

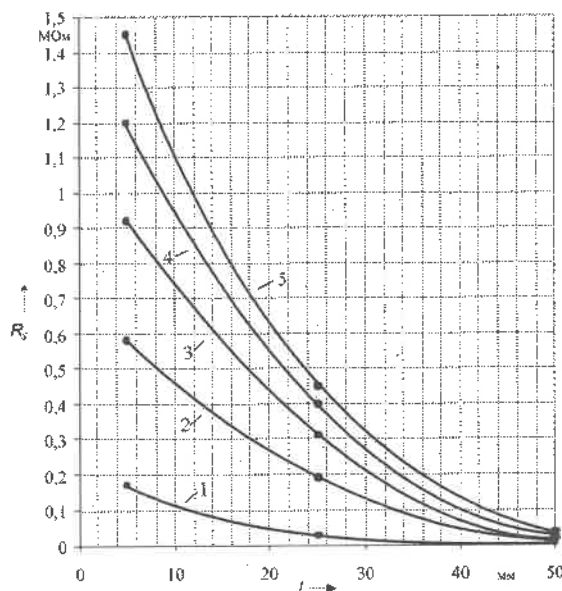


Рисунок 1 – Зависимость $R_s = f(l)$ при испарении влаги по глубине образцами бетона класса по прочности на сжатие $C^{20}_{/25}$: 1–5 – соответственно 6, 12, 18, 24, 30 суток

Полученные значения R_s для каждого расчетного значения сечения достаточно хорошо описывает полиномиальная зависимость второго порядка.

В общем виде

$$R_s = k_1 l^2 - k_2 l + k_3, \quad (3)$$

где k_1-k_3 – коэффициенты, аппроксимирующие полиномиальную зависимость второй степени: $k_1, \frac{\text{Ом}}{\text{мм}^2}$;

$k_2, \frac{\text{Ом}}{\text{мм}}$; $k_3, \text{Ом}$; l – сечение образца, мм.

Полученные зависимости $R_s = f(l, t = \text{const})$ представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Зависимости $R_s = f(l, t = \text{const})$

t , сут	$R_s = f(l, t = \text{const})$	Коэффициент детерминации R^2
6	$0,0001l^2 - 0,0111l + 0,2222$	1,000
12	$0,0003l^2 - 0,0277l + 0,7117$	
18	$0,0004l^2 - 0,0426l + 1,124$	
24	$0,0005l^2 - 0,0563l + 1,468$	
30	$0,0007l^2 - 0,0716l + 1,790$	

Путем математической обработки значений коэффициентов k_1-k_3 для граничных значений $t = 6; 12; 18; 24$ и 30 сут получены зависимости $k_i = f(t)$.

$$k_1 = 2 \cdot 10^{-5} t - 2 \cdot 10^{-5}; \quad R^2 = 0,9800. \quad (4)$$

$$k_2 = -0,0025t + 0,0030; \quad R^2 = 0,9990. \quad (5)$$

$$k_3 = 0,0649t - 0,1044; \quad R^2 = 0,9922. \quad (6)$$

Таким образом, зависимость $R_s = f(l, t)$ имеет вид

$$R_s = (2 \cdot 10^{-5} t - 2 \cdot 10^{-5}) l^2 - (0,0025t + 0,0030) l + 0,0649t - 0,1044. \quad (7)$$

Характер изменения скоростей переноса поровой влаги в разных сечениях исследованных образцов приведен на рисунке 2.

Капиллярную пористость бетона рассчитывали по зависимости проф. В. В. Бабинского с учетом водоцементного отношения бетона $(В/Ц)_6$ и степени гидратации цемента α :

$$\Pi_k^6 = \frac{\Pi [0,98(В/Ц)_6 - 0,0094 - 0,369\alpha]}{1000}, \quad (8)$$

где $(В/Ц)_6$ – водоцементное отношение бетона; α – степень гидратации цемента, %.

С учетом того, что эксперимент проводился в течение 30 суток, что практически соответствует расчетному значению срока твердения бетона в нормальных условиях, для дальнейших расчетов принимали стандартное значение степени гидратации цемента в возрасте 28 суток.

Степень гидратации цемента в возрасте 28 суток твердения α_{28}^{20} , %, в соответствии с [3], рассчитана в зависимости от X : при $X > 1,65$

$$\alpha_{28}^{20} = 70 + 5(X - 1,65), \quad (9)$$

где X – относительное водосодержание цементного теста.

Относительное водосодержание цементного теста

$$X = \frac{0,98(В/Ц)_6 - 0,0094}{НГ / 100}, \quad (10)$$

где НГ – нормальная плотность цементного теста, %.

Для использованного бетона $НГ = 26,5 \%$; с учетом зависимостей (3)–(5) капиллярная пористость бетона класса по прочности на сжатие $C^{20}_{/25}$ составляет 8,70 %.

Полученные результаты показывают, что у исследованного бетона изменение R_s носит нелиней-

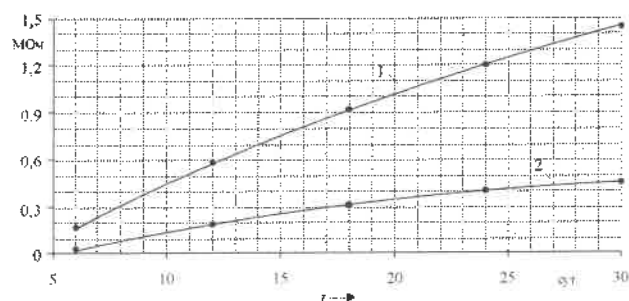


Рисунок 2 – Кинетика испарения влаги по глубине образцами бетона класса по прочности на сжатие $C^{20}_{/25}$: 1–3 – соответственно глубина 5, 25, 50 мм

С момента начала испарения скорость переноса влаги на глубине 5 мм со временем возрастает, в то время как на глубине 25 мм ее рост значительно заторможен (см. рисунок 2, кривые 1, 2). Поэтому в интервале глубин 5–25 мм наблюдается более резкое изменение влажности, чем в интервале глубин 25–50 мм.

Аналогично будет происходить распределение влаги при испарении в любых бетонах, с тем условием, что чем выше будет капиллярная пористость бетона, тем более характер кривых испарения будет приближаться к линейному.

Закключение. Наибольшая скорость переноса влаги присутствует в поверхностных слоях (до 25 мм), что практически соответствует толщине защитного слоя бетона. Именно в поверхностных слоях бетона, под воздействием атмосферных осадков, будут наиболее часто происходить процессы попеременных увлажнения и высыхания бетона, приводя к ускоренной карбонизации защитного слоя бетона.

Список литературы

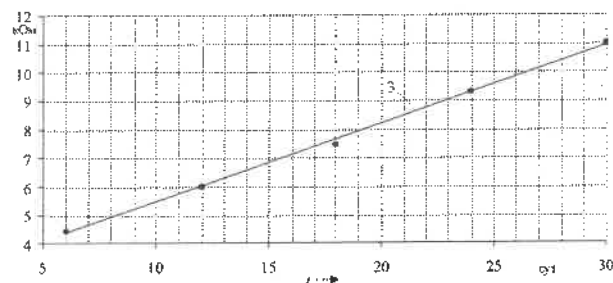
- 1 Васильев, А. А. Карбонизация и оценка поврежденности железобетонных конструкций : монография / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 263 с.
- 2 Васильев, А. А. Карбонизация бетона (оценка и прогнозирование) : монография / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 303 с.

Получено 02.12.2024

A. A. Vasilyev, M. I. Tkacheva, K. E. Ageeva, V. V. Logvin. Moisture evaporation distribution kinetics study by section of concrete of compression strength class $C^{20}_{/25}$.

The significance of the study of moisture saturation and evaporation processes along the concrete cross-section in the development of concrete carbonization is shown. A study was carried out by measuring the electrical resistance of the kinetics of moisture distribution over time across the section of concrete of compression strength class $C^{20}_{/25}$. There are obtained graphical dependences of change of electrical resistance at moisture evaporation by section of compression strength class $C^{20}_{/25}$ for boundary values of time and kinetics of moisture evaporation by section for boundary values of sections. Mathematical dependence of electrical resistance change in time on concrete section of $C^{20}_{/25}$ compression strength class is proposed. It is shown that the highest rate of moisture transfer is present in the surface layers of concrete, determining the rate of carbonization of the protective layer of concrete.

ный характер (см. рисунок 1). В интервале глубин от 5 до 25 мм наблюдается более резкое снижение R_s , чем в глубине от 25 до 50 мм. Этот нелинейный характер сохраняется и по мере испарения влаги.



3 Васильев, А. А. Оценка и прогнозирование технического состояния железобетонных конструкций с учетом карбонизации бетона : монография / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 215 с.

4 Васильев, А. А. Оценка существующей модели карбонизации бетона / А. А. Васильев // Строительная наука и техника. – 2009. – № 1 (22). – С. 54–58.

5 Васильев, А. А. К вопросу необходимости учета карбонизации бетона в нормативных документах Республики Беларусь по оценке технического состояния железобетонных элементов и конструкций / А. А. Васильев // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2017. – № 1 (34). – С. 87–88.

6 Васильев, А. А. К вопросу объективности современной оценки и прогнозирования карбонизации бетона на основе индикаторного метода / А. А. Васильев // Вестник Брестского государственного технического университета. Строительство и архитектура. – 2020. – № 1. – С. 77–80.

7 Васильев, А. А. Прогнозирование фактической карбонизации с учетом технологических параметров бетона : монография / А. А. Васильев, А. М. Нияковский. – Гомель : БелГУТ, 2024. – 205 с.

8 Неразрушающие методы оценки и прогнозирования технического состояния железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в воздушных средах : практ. пособие / Т. М. Пецольд, В. П. Богданов, В. В. Бабицкий [и др.] ; под ред. А. А. Васильева. – Гомель : БелГУТ, 2007. – 146 с.

9 Ахвердов, И. Н. Неразрушающий контроль качества бетона по электропроводности / И. Н. Ахвердов, Л. Н. Маргулис. – Минск : Наука и техника, 1975. – 176 с.

УДК 656.2

Т. А. ВЛАСЮК, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА В АГЛОМЕРАЦИИ

Рассматриваются проектные аспекты организации железнодорожного сообщения между городом-центром и прилегающим городом-спутником в агломерации. Обоснована необходимость интеграции железнодорожного транспорта с другими видами пассажирского транспорта для обеспечения рационального транспортного обслуживания населения в агломерации. Предложено комбинированное использование железных дорог и других видов транспорта таким образом, чтобы каждая система дополняла другую, максимально реализуя свои преимущества и компенсируя недостатки альтернативных видов сообщения. Показано, что частые и регулярные рейсы региональных поездов (в том числе рельсовых автобусов) сокращают время ожидания пассажиров, а современное техническое оснащение станций и остановочных пунктов снижает общее время поездки. Отмечена успешная мировая и отечественная практика по эффективному интегрированию транспортных сетей, связывающих ядро агломерации с поясом спутников через железнодорожные узлы, которые функционируют как пересадочные маршрутизаторы пассажиропотоков.

Введение. Мировой и отечественный опыт развития железнодорожного транспорта в качестве обслуживающей сферы крупных городов показывает, что железные дороги способны стать эффективной средой, обеспечивающей связи агломераций через интеграционные сети с другими видами транспорта, в которых железнодорожные станции и узлы являются маршрутизаторами приема и передачи пассажиропотоков. При этом необходимо учесть, что по оценкам исследователей, рациональная загрузка железнодорожной инфраструктуры в агломерации должна составлять не менее 60–80 % пропускной способности, что достигается при динамичном взаимодействии железной дороги с другими видами транспорта, взаимно перераспределяющими нагрузку и обеспечивающими высокий уровень обслуживания пассажиров на всем протяжении их мультимодальной поездки. Широкий диапазон такого важного оценочного параметра эффективности транспортной системы указывает на тесную связь с другими видами транспорта, динамичное взаимодействие с которыми предполагает взаимное колебание нагрузки отдельных подсистем. Следует отметить, что переориентация потока пассажиров на автотранспорт приводит к снижению качества транспортного обслуживания из-за увеличения продолжительности поездок потому, что потерянный пассажиропоток изначально тяготеет к полигону, обслуживаемому железнодорожным транспортом (например, посещаемые культурно-исторические центры и святыни в своем большинстве находятся в городах, имеющих железнодорожное сообщение с удобным расписанием региональных поездов). Поэтому такой пассажиропоток целесообразно переориентировать обратно в зону тяготения железнодорожного транспорта, что возможно при использовании пассажироориентированного подхода с корректным планированием объемов региональных пассажирских перевозок, дифференцированных по характеру совершаемых поездок.

Постановка задачи. Эффективное использование железнодорожного транспорта между крупным городом и примыкающей зоной тяготения города-спутника становится возможным только при интеграции с другими видами транспорта. При этом важно определить

такой комбинированный вариант применения железнодорожного и городских видов транспорта, когда будут максимально реализовываться преимущества каждого из них. Например, частые и регулярные рейсы рельсовых автобусов и поездов, особенно в часы пик, позволят минимизировать время ожидания пассажиров или достаточное техническое оснащение остановочных, а также раздельных пунктов железнодорожного транспорта в городах и их спутниках минимизирует время поездки пассажиров, а интеграция с метрополитеном, трамваями и автобусами обеспечит удобные и малозатратные пересадки. В связи с этим рассмотрение вопросов проектного характера, имеющих отношение к расчёту мощности путевого развития и технического оснащения устройств железнодорожного транспорта, обеспечивающих рациональное транспортное обслуживание пассажиров, является актуальным направлением исследования.

Основная часть. Железнодорожный транспорт исторически играет ключевую роль в перевозке пассажиров между городом и пригородами, что обусловлено его высокой провозной способностью. Для крупных городов железная дорога нередко служит «каркасом» транспортной системы агломерации, связывающим отдаленные населенные пункты с центром. Освоение железнодорожным транспортом городских и региональных перевозок для жителей агломерации означает высокую ритмичность в обслуживании, доступность транспортной услуги и доступность по стоимости. Так, в Республике Беларусь в 2010-х годах был реализован проект организации городских линий железной дороги в Минской агломерации, который наглядно продемонстрировал эффективность данного подхода. Однако необходимо отметить, что эффективность железнодорожного сообщения проявляется полностью только при условии его интеграции с другими видами транспорта и при соответствующем развитии инфраструктуры.

В связи с вышеизложенным выполним анализ инфраструктуры железнодорожного транспорта города-центра и его спутника(-ов) по обеспечению рационального транспортного обслуживания региональных пассажиров. Следовательно, для реализации

эффективного железнодорожного сообщения между городом-центром и городом-спутником требуется соответствующим образом развитая инфраструктура путевого хозяйства и станционных объектов.

Во-первых, необходимо обеспечить достаточную пропускную способность путей. Если существующая однопутная линия не справляется с увеличением количества поездов, может потребоваться ее расширение (второй путь, обгонные участки) или организация диспетчеризации, позволяющей минимизировать встречные задержки. Проектирование путевого развития базируется на прогнозируемых объемах перевозок: число пар поездов в часы пик, требуемое минимальное время следования и интервал движения. Например, при организации городских линий в Минской агломерации Белорусская железная дорога модернизировала ряд перегонов, оснастив их современными системами сигнализации и связи для повышения скорости и безопасности движения. Технологическое обновление включало устранение пересечений в одном уровне с автомобильными дорогами (где это возможно), усиление энергообеспечения для электро-подвижного состава и строительство новых платформ в перспективных точках остановок (таких, как о. п. Заречное в Смолевичах, открытый для обслуживания жителей развивающегося спутника).

Необходимо отметить, что по причинам плотной застройки железнодорожные станции не могут инфраструктурно развиваться на исторически наследуемых площадях, и проведенными исследованиями доказываются целесообразность проведения этапных мер по поддержке оптимизированного уровня загрузки станционных устройств, удовлетворяющего качеству транспортного обслуживания пассажиров с распределением избыточных потоков по коллатеральным (параллельным) каналам, которыми являются существующие или вновь сооружаемые остановочные пункты в точках потенциального завершения поездок (торговые, развлекательные, административные центры, деловые кварталы, спальные районы), в пересадочных узлах других видов транспорта, на перехватывающих парковках. В определенных случаях возможно увеличение пропускной способности существующих пассажирских станций за счет более активного использования третьего измерения (надземных и подземных площадей) и формирования комбинативных образований транспортного обслуживания в зонах паркингов, торговых центров, офисов и жилых зданий.

Во-вторых, техническое оснащение станций и остановочных пунктов играет значительную роль в привлечении пассажиров. Станции должны быть оборудованы всем необходимым для быстрого и комфортного обслуживания: высокими посадочными платформами (исключая необходимость подниматься в вагон по лестнице), навесами и залами ожидания, системами звукового и визуального оповещения о прибытии поездов, автоматизированными кассами или валидаторами для покупки билета. Освещение, безопасность (видеонаблюдение) и навигационные указатели также являются обязательными элементами современной железнодорожной станции.

Достаточное техническое оснащение остановочных пунктов существенно сокращает время дополнительного ожидания и обслуживания, тем самым снижая общее время поездки пассажира. Например, наличие нескольких входов/выходов (вестибюлей) на крупных пересадочных узлах уменьшает дистанцию пешего перехода при пересадке. В Москве на МЦК (Московском центральном кольце) планируется открытие новых дополнительных вестибюлей на ряде станций, чтобы сократить время пересадки на метро и другие линии. Также продуманное расположение остановочных пунктов относительно жилых районов влияет на привлекательность железной дороги: если платформа отстоит далеко от районов притяжения, то часть потенциальных пассажиров предпочтет более близкий вид транспорта. Поэтому при проектировании новых линий или модернизации старых особое внимание уделяется выбору места для станций в городе-спутнике – желательно в центре населенного пункта или рядом с крупными жилыми массивами и объектами притяжения (учебными заведениями, предприятиями, торговыми центрами и т. д.).

Следование принципу «один вид транспорта на всю поездку» позволяет минимизировать количество пересадок пассажиров, обеспечивая максимальный комфорт. Анализ мирового опыта городского транспортного обслуживания показывает, что использование рельсового транспорта (железная дорога, метро, трамвай) позволяет обеспечить потребности не менее 75 % пассажиров в пригородных поездках до пунктов назначения при одной пересадке. При этом плотность сети рельсового транспорта в городе должна быть не менее 2,5 км/км². В таких случаях возникает устойчивый вектор тяготения пассажиропотока и на полигоне связи «метрополия – спутник» с формированием транспортно-связных городских агломераций. Активный периметр возрастающего потока на железнодорожном транспорте наблюдается до уровня компенсирующего воздействия автомобильного, который становится регулятором качества транспортного обслуживания.

Размещение железнодорожной станции в центре агломерации (городе-ядре) должно учитывать такие факторы, как близость к деловым районам и центрам пересадок. Интеграция пассажирской станции в городскую ткань способствует оптимизации используемого городского пространства, в котором такие инфраструктурные объекты, как перехватывающие парковки, паркинги, торговые центры, офисы и жилые здания органично соседствуют с зонами отдыха, зелеными насаждениями и малыми архитектурными формами.

Исследования показали, что эффективность использования железнодорожного транспорта в городской агломерации существенно возрастает при проектировании прямых железнодорожных маршрутов, непосредственно соединяющих пригород или город-спутник с мультимодальными пересадочными узлами. Предпочтение пассажирами железнодорожного транспорта оказывается уверенно прогнозируемым, если предоставлять пассажиру не меньшую стоимость билета на конкурентном виде транспорта, а обеспечить более удобную связь железнодорожного с рельсо-

вым видом транспорта, минимизирующую или исключаящую ожидания.

Изучение истории развития городов и их транспортного обеспечения показывает, что количество и регулярность поездок, совершаемых между городом-ядром и городом-спутником, существенно возрастает за относительно короткий промежуток времени в условиях роста технопарков, индустриального и научного кластера в городах-спутниках, ухудшающейся

экологии в крупных городах, с формированием региональных торговых, развлекательных, культурных, спортивных и социальных центров.

Устройства для обслуживания пассажиров, пользующихся услугами железнодорожного транспорта в городах-спутниках, могут ограничиваться остановочными пунктами (конструктив А), пассажирскими районами промежуточных станций (конструктив В) или развиваться до уровня зонных станций (конструктив С) (таблица 1).

Таблица 1 – Мощность обустройств для обслуживания пассажиров в городах-спутниках

Тип конструктива транспортного обслуживания	Мощность пассажиропотока, пас/сут		Количество поездов в сутки		Инфраструктура остановочного или раздельного пункта на участке	
	летом	зимой	летом	зимой	однопутном	двухпутном
Конструктив А (остановочный пункт)	До 800	До 500	До 5	Менее 3		
Конструктив В (промежуточная станция)	До 1500	До 800	Не менее 6	До 5		
Конструктив С (зонная станция)	До 3000	До 1500	До 10	Не менее 6		

Характерной особенностью использования пассажирских устройств конструктива С является 90–95 % погашения пассажиропотока в городе-спутнике. Наличие технологических тупиков на зонной станции определяется необходимостью ночного отстоя подвижного состава, который требуется оставлять в городе-спутнике, если обеспечивается населённость утренних рейсов не менее 50 % (6-, 9- и 12-вагонные составы летом и 3-вагонный зимой).

Установлена эмпирическая зависимость между величиной пассажиропотока на участке город-ядро – город-спутник и количеством постоянно проживающих в последнем (рисунок 1).

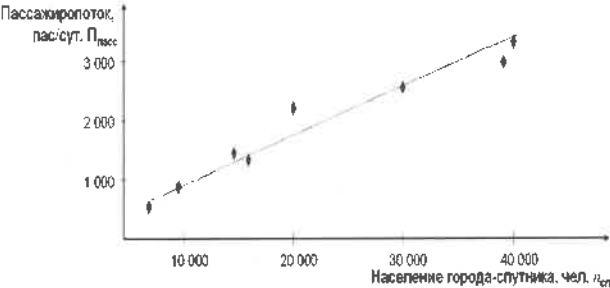


Рисунок 1 – Статистические данные по размерам региональных пассажиропотоков и населению городов-спутников в Республике Беларусь (летние месяцы 2023 года)

Параметры расстояний до метрополии и число жителей, проживающих в ней, не являются взаимозависимыми в искомой функции, так как на протяжении ряда лет объективно происходит определенное согласованное выравнивание значений переменных $P_{\text{пас}}$ и $n_{\text{сп}}$ по экономическим, экологическим и другим объективным условиям и предпочтениям пассажиров. Выполненные исследования показали необходимость разделения городских агломераций на муниципальные и мегаполисные, характеризующиеся различными закономерностями своего образования и развития. Цен-

трами муниципальных городских агломераций в Республике Беларусь являются, как правило, областные центры, которые формируют однопорядковые по значениям параметров показатели расстояний до городов-спутников, числу жителей, величин обслуживаемых пассажиропотоков, транспортных нагрузок, факторных влияний. Минская агломерация, относимая к мегаполисным, кластерно обособлена от муниципальных и качественно отличается по всем сравниваемым позициям (рисунок 2).

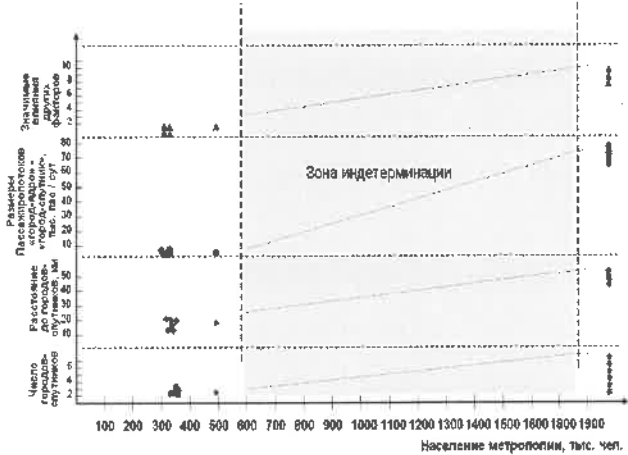


Рисунок 2 – Муниципальные и мегаполисная агломерации в Республике Беларусь

Отсутствие в Беларуси городов с населением в диапазоне 600 тыс. – 1,5 млн человек не позволяет получить соответствующую сравнительную базу по оцениваемым параметрам. Однако несмотря на существующую зону индетерминации, следует указать на наличие в мегаполисной агломерации новых признаков, отсутствующих в муниципальных (использование метрополитена как связующего вида транспорта метрополии, развитие специализированной пассажирской станции с полным комплексом устройств не

только для обслуживания пассажиров, но и пассажирского подвижного состава).

Нормами проектирования пассажирских устройств СССР было рекомендовано сооружение метрополитена в городах с населением свыше 1 млн человек. Однако мировая практика показывает, что метрополитен сооружается и в городах численностью 600 тыс. человек населения (г. Доха), и до 500 тыс. жителей (Тулуза, Нюрнберг). Метрополитен является важным видом транспорта, активно влияющим на развитие городской агломерации. В последние годы он выходит на удаленные спальные районы мегаполисов и города-спутники (проекты развития Московского метрополитена на Мытищи, Люберцы, Балашиху; реализованный маршрут из Гуанчжоу в Фошань, Китай). В Республике Беларусь проводятся комплексные проектно-экономические изыскания по разработке эффективных вариантов выхода Минского метрополитена на города-спутники (рисунок 3).



Рисунок 3 – Перспективное развитие линий Минского метрополитена в пригородных зонах агломерации

Опыт зарубежных железных дорог доказывает целесообразность использования скоростных и высокоскоростных магистралей для обслуживания пригородных пассажиров. В Объединенных Арабских Эмиратах между городами Абу-Даби и Дубаем (расстояние 139 км) запроектированы 5 железнодорожных станций в административных границах этих городов, включая аэропорт в Абу-Даби.

Таким образом, муниципальные и мегаполисные агломерации следует изучать как специфические и самостоятельные структуры, имеющие свои закономерности в формировании и развитии. Муниципальные агломерации могут выходить на уровень мегаполисных после достижения объемов пассажирского движения по примыкающим пригородным направлениям более 50 000–75 000 пассажиров в сутки.

Немаловажными компонентами инфраструктуры являются подвижной состав и подвижные единицы. Эксплуатация городских железнодорожных линий предъявляет особые требования к поездам: им необходимо обладать высокой динамикой разгона и торможения для сокращения интервалов между остановками, вмещать значительное число пассажиров при сохранении комфортных условий, а также быть надежными и экономичными в интенсивном режиме работы. Опыт Беларуси показывает успех привлечения современных электропоездов *Stadler Flirt* на городские линии Минска —

эти составы рассчитаны на 555 мест и оборудованы для быстрых посадок (несколько широких дверей, низкий пол), имеют сквозной проход и кондиционирование, что существенно повысило привлекательность железнодорожных перевозок. Высокое ускорение и плавность хода данных поездов позволяют поддерживать скорость сообщения, не жертвуя комфортабельностью.

Таким образом, техническое перевооружение подвижного состава напрямую связано с инфраструктурой: новые поезда требуют соответствующих по высоте и длине платформ, современного электроснабжения, однако взамен дают увеличение провозной способности и качества сервиса.

Помимо вышеизложенного необходимо отметить интеграцию железнодорожной инфраструктуры с другими видами транспорта, как единой, скоординированной системы, в которой региональные поезда, городские поезда (электрички) и городские виды транспорта (метро, автобусы, трамваи) дополняют друг друга. Практические шаги для достижения интеграции включают организацию удобных транспортно-пересадочных узлов, согласование расписаний, унификацию тарифов и внедрение единых проездных билетов, а также информационную связность систем. При этом транспортно-пересадочные узлы (ТПУ) играют роль «маршрутизаторов» пассажиропотоков в интегрированной сети. Железнодорожные станции, расположенные в городе-ядре, должны быть оборудованы пересадочными контурами на другие виды транспорта: переходами на станции метро, автостанции, трамвайные остановки, парковками *park-and-ride* для автовладельцев. В Минске примерами таких узлов являются станции Минск-Пассажирский, Минск-Восточный, Минск-Северный и остановочный пункт Институт культуры, где сходятся маршруты поездов городских линий и городского пассажирского транспорта. В этих пунктах обеспечено наиболее близкое расположение пассажирских платформ разных видов транспорта, что в сочетании с синхронизированным расписанием позволяет пассажирам совершать пересадки с минимальной потерей времени.

Согласованность расписаний также является важнейшим элементом интеграции. Частота движения поездов должна быть согласована с графиком работы городского транспорта и суточными колебаниями спроса. В часы пик целесообразно минимизировать интервалы между отправлениями электропоездов, что снижает время ожидания на платформах и делает поезд привлекательным для регулярных поездок на работу или учебу. Там, где пассажиропоток недостаточно велик для частого движения длинносоставных электропоездов, могут применяться рельсовые автобусы (легкие дизель- или электропоезда малой вместимости), позволяющие экономично увеличить частоту рейсов. Зарубежный опыт показывает, что высокая частота движения и надежность расписания — критические факторы успеха пригородного железнодорожного сообщения в конкурентной борьбе с личным автомобилем. Например, в системах *S-Bahn* в Германии и *RER* во Франции поезда ходят с малым интервалом и встроены в общую маршрутно-кассовую систему мегаполиса, благодаря чему для пассажира

поездка на электричке практически не отличается от поездки на метро по удобству и простоте пересадок. В типичной европейской агломерации действуют единые проездные билеты, позволяющие свободно пересестись с пригородного поезда на городской транспорт, а железнодорожные станции спроектированы как многофункциональные хабы с обменом потоками между различными линиями и видами транспорта. Такая многогранная интеграция стимулирует население пользоваться общественным транспортом и снижает нагрузку на дорожную сеть.

Еще одним важным аспектом интеграции являются единая тарифная система и информация, объединяющие платежные системы и навигацию. Так, если билет действителен как в электричке, так и в метро или автобусе, пассажир воспринимает всю систему как единое целое и планирует маршрут исходя из оптимального времени, не беспокоясь о дополнительной плате за пересадку. Информационные сервисы (мобильные приложения, табло) должны охватывать все виды транспорта и давать пассажиру целостную картину маршрута. Технически это требует координации между разными перевозчиками и транспортными ведомствами, но выгоды выражаются в росте пассажиропотока и более равномерном распределении нагрузки между транспортными системами агломерации.

Интеграция также подразумевает решение проблемы «последней мили» – доставки пассажира от станции в городе-спутнике до дома или работы, если железнодорожная платформа находится не в пешей доступности. Здесь на помощь приходят автобусы малой вместимости, городские маршруты, а также организация парковок для индивидуального транспорта около станций в пригороде. Мировой опыт показывает, что эффективность пригородного железнодорожного сообщения резко повышается, если на всем протяжении пути (от двери до двери) общественный транспорт обеспечивает выигрыш по времени и комфорту. Так, эксперты отмечают, что городская электричка будет пользоваться спросом, если время в пути от района в городе-спутнике до центра города как минимум на 20 % меньше, чем при поездке на альтернативном транспорте, при условии наличия достаточного пассажиропотока – не менее ~1000 человек в час в часы пик. Иными словами, пассажир должен ощутимо экономить время благодаря скоростному сегменту поездки по железной дороге; тогда даже с учетом пересадок такой вариант становится предпочтительным.

В интегрированной системе нагрузка на разные виды транспорта динамически перераспределяется. Например, в межпиковое время снижение интенсивности движения поездов может компенсироваться автобусными шаттлами, а при всплеске пригородного пассажиропотока (начало рабочей смены, массовые мероприятия) именно железная дорога берет на себя основную массу перевозок. Важным условием является то, чтобы резерв пропускной способности железнодорожной линии использовался рационально. Недопустимо, чтобы дорогая инфраструктура пустовала: при избыточно редком расписании или слабой загрузке поездов вложения не окупаются. С другой стороны, перегрузка

линии выше оптимального уровня снижает надежность и регулярность (возникают задержки, сбои). Поэтому целевой коэффициент использования провозной способности линии в агломерации должен быть высоким, но не запредельным – оценки специалистов указывают на диапазон порядка 60–80 % как наилучший баланс эффективности и устойчивости работы системы. Достижение такой загрузки возможно при условии сопряженного планирования всех видов транспорта и гибкого реагирования на изменение спроса в разных направлениях агломерации.

Выполненный анализ показал, что в крупнейших мегаполисах мира давно осознана необходимость интеграции пригородного железнодорожного сообщения с системой городского транспорта. Классическими примерами служат системы *S-Bahn* в городах Германии (Берлин, Мюнхен, Франкфурт и др.), *RER* в Париже, *Overground* в Лондоне, пригородные диаметры в Токио и Нью-Йорке. Эти системы, несмотря на различия, объединяет общая черта: они являются частью единой сети. В них пригородные поезда ходят часто и по четкому расписанию, делая остановки на ключевых узлах, где можно пересестись на городской транспорт или на другие линии. Пересадочность заложена в саму структуру системы: например, в Париже линии *RER* проходят через центр города под землей, имея пересадки на десятки станций метро; в Берлине сеть *S-Bahn* дополняет метро (*U-Bahn*) и трамваи, образуя единую маршрутную паутину с множеством узловых точек. За счет этого железная дорога берет на себя значительную часть внутригородских перевозок: так, берлинский *S-Bahn* обеспечивает перевозки по коридору, соединяющему центр с окраинами, фактически работая в режиме метрополитена в черте города. Другой пример – агломерация Рейн-Рур в Германии, где сеть *S-Bahn* соединяет несколько городов и пригородов в единую систему общественного транспорта региона. В этих случаях железнодорожные станции выполняют роль крупных пересадочных узлов, а единые тарифы и координированные расписания обеспечивают бесперебойность мультимодальных поездок.

Следует отметить, что интеграция требует значительных инвестиций и организационных усилий. В ряде городов (например, Стокгольм, Сидней) принята концепция «часового пояса доступности»: считается, что жилые зоны, из которых можно добраться до центра города на общественном транспорте примерно за один час, являются оптимальными для маятниковой миграции. Железная дорога зачастую становится основой для формирования именно таких зон – скоростные электрички позволяют ежедневно ездить на работу за 40–60 минут в один конец. Увеличение скорости сообщения расширяет географию агломерации. Как отмечают специалисты, радиус агломерации напрямую зависит от скорости перевозок: повышение скорости поездов или внедрение высокоскоростных линий делает возможным включение более отдаленных спутников в «ежедневный» город. Именно поэтому многие страны инвестируют в развитие пригородных экспрессов, электричек и региональных поездов, которые дополняют городские перевозки.

Заключение. Развитие инфраструктуры железнодорожного транспорта между городом-ядром и городом-спутником является стратегической задачей для устойчивого развития городских агломераций. Проведенный анализ показывает, что железнодорожный транспорт способен обеспечить рациональное, быстрое и массовое перевозочное сообщение между крупным городом и его спутниковой зоной при условии тесной интеграции с другими видами транспорта. Комбинированное применение железнодорожного и городского транспорта позволяет максимизировать преимущества каждого из них: высокая скорость и вместимость поездов дополняется гибкостью и доступностью городских маршрутов, что в сумме обеспечивает пассажирам оптимальный по времени и комфорту поезд.

Для достижения данной цели необходимо соблюдать ряд принципов.

Во-первых, планирование транспортной системы агломерации должно вестись комплексно: железнодорожная инфраструктура, сеть автобусных и трамвайных линий, метро и другие виды сообщения должны рассматриваться как элементы единого организма.

Во-вторых, требуется развитие путевого хозяйства и станций железной дороги до уровня, обеспечивающего необходимую пропускную способность и удобство пассажиров – это включает как физическое строительство путей и платформ, так и оснащение их современными технологиями обслуживания.

В-третьих, организационные меры – согласование расписаний, создание пересадочных узлов, единая система оплаты проезда – являются тем «цементом», который соединяет разрозненные маршруты в единую сеть. Мировой и белорусский опыт убеждают, что игнорирование любого из этих компонентов ведет к снижению эффективности всей системы.

В Республике Беларусь накоплены позитивные результаты по интеграции железнодорожного транспорта в обслуживание Минской агломерации, и намечены планы дальнейшего развития (строительство скоростных линий к городам-спутникам, повышение частоты рейсов, улучшение пересадочной инфраструктуры). Реализация этих мер позволит достичь рациональной загрузки железнодорожной сети на уровне, близком к оптимальному, и создаст условия для комфортного передвижения жителей как города-ядра, так и городов-спутников. Интегрированная транспортная система агломерации в перспективе станет залогом сбалансированного роста городов, снижения транспортных издержек населения и повышения качества городской среды в целом.

Список литературы

- 1 Власюк, Т. А. Моделирование взаимодействия железнодорожного и автомобильного транспорта по обслуживанию пассажиропотоков в крупных городах / Т. А. Власюк. – ВИНТИ. – 2013. – № 7. – С. 54–60.
- 2 Власюк Т. А. Анализ эффективности пассажирской транспортной системы Минской агломерации / Т. А. Власюк, А. А. Михальченко / Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2014. – № 1 – С. 68–72.
- 3 Власюк, Т. А. Транспортное обслуживание городов-спутников в Минской городской агломерации / Т. А. Власюк // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2014. – № 2. – С. 53–59.
- 4 Спутники стали ближе // Железнодорожник Белоруссии. – URL: <http://xpress.by/2021/09/11/sputniki-stali-blizhe/> (дата обращения: 28.04.2023).
- 5 S-Bahn // Википедия. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/S-Bahn> (дата обращения: 28.04.2023).
- 6 Российская Академия транспорта : [сайт]. – URL: http://rosacademtrans.ru/trans_week1/ (дата обращения: 28.04.2023).
- 7 Инвест-Формат : [сайт]. – URL: <https://www.if24.ru/minsk-goroda-sputniki/> (дата обращения: 28.04.2023).

Получено 02.05.2025

T. A. Vlasuk. Features of development of railway transport infrastructure in the agglomeration.

The article discusses the design aspects of railway connections in an agglomeration between a central city and an adjacent satellite city. It substantiates the need to integrate railway transport with other modes of passenger transportation to ensure efficient transportation services for the population in the agglomeration. The article proposes a combined use of railways and other modes of transportation, ensuring that each system complements the other, maximizing its advantages and compensating for the disadvantages of alternative modes of transportation. It has been shown that frequent and regular regional train services (including rail buses) reduce passenger waiting times, and modern technical equipment at stations and stops reduces the overall travel time. The article highlights successful global and domestic practices (including those in the Republic of Belarus) for effectively integrating transport networks that connect the core of an agglomeration with a belt of satellites through railway hubs that function as transfer routers for passenger flows.

УДК 004.896

В. Н. ГАЛУШКО, кандидат технических наук, В. О. БЕЛЬКИН, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОИНТЕЛЛЕКТА НА ТРАНСПОРТЕ И В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Интеграция разработок ученых за последние 80 лет в области искусственного интеллекта позволила создать архитектуру нейронной сети, исключающую недостатки коннекционистских систем, спроектированных ранее. Новая система способна работать с числовыми данными и изображениями в цветном и черно-белом форматах, она обладает высокой чувствительностью и применяется преимущественно для решения задач технической диагностики. Такая нейронная сеть, дополненная областью памяти с адаптированным методом обучения, находит широкое применение в энергетической промышленности для решения сложных технических задач. В статье будут рассмотрены различные способы применения бимодальной системы – определение технического состояния ядерного реактора, анализ и систематизация неупорядоченных данных по энергоресурсам, распознавание памяти и классификация неисправностей электрических машин.

В 1944 году человечество, вдохновленное биологией, впервые попыталось обуздать искусственный интеллект. Отцы-основатели Уоррен МакКаллок и Уолтер Питтс показали, что при помощи пороговых нейронных элементов можно реализовать исчисление любых логических функций. И уже в 1958 году Фрэнк Розенблатт создал вычислительную систему «Марк-1», которая стала первым нейрокомпьютером, способным обучаться. Эта система была построена на основе перцептрона – нейронной сети, разработанной Фрэнком по образу и подобию человеческого мозга, за три года до системы «Марк-1». Сей-

час ученые с каждым годом все ближе подбираются к тайнам загадочного органа. За последние 80 лет было разработано множество нейронных сетей и методов их обучения: перцептрон, сеть Кохонена, обучение Хебба, было придумано множество функций активации нейронов и т. д. Наступает момент, когда необходимо интегрировать накопленный опыт ученых-исследователей и испытать его на практике.

На рисунке 1, а представлена схема нейронной сети, учитывающая идею перцептрона Розенблата и Румельхарта, включающая преимущества обучения Хебба, а также сеть Кохонена и область памяти.

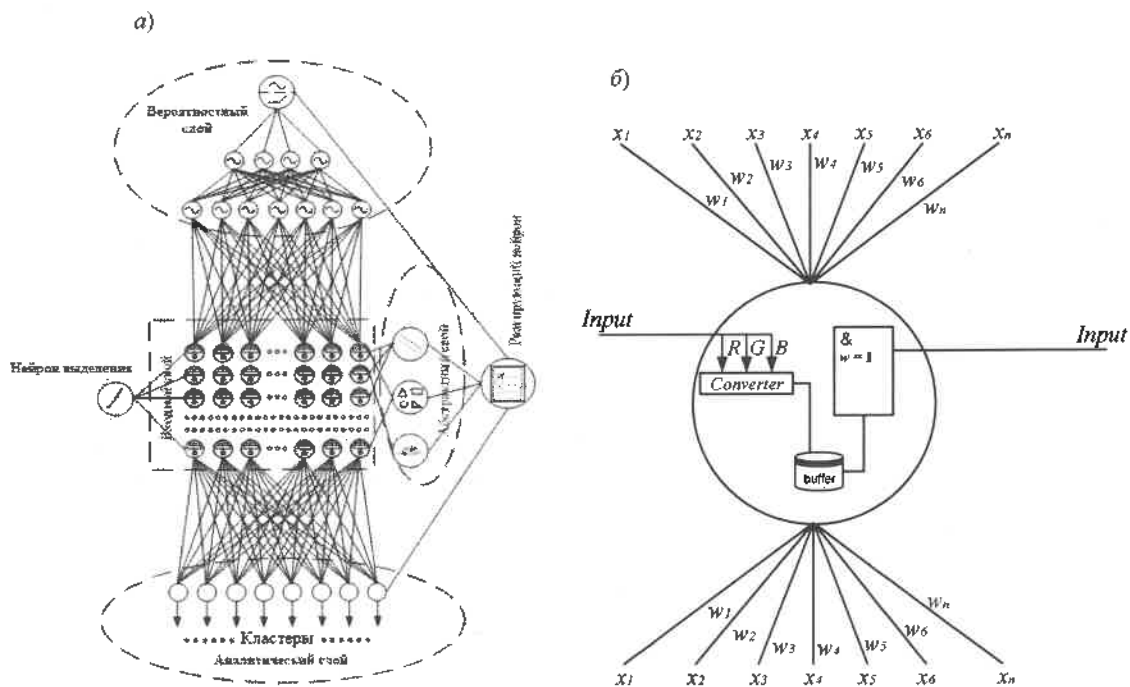


Рисунок 1 – Схема нейронной сети (а) и входного нейрона (б)

Нейронная сеть разбита на пять сегментов: входной, вероятностный, абстрактный, аналитический и реагирующий. Рассмотрим каждый из них подробнее.

Входной сегмент представляет собой матрицу входных нейронов, которые называются сенсорами. Сегмент представлен в виде матрицы для удобства

программирования, поскольку с характеристиками объектов и изображениями легче работать именно в таком виде, нежели с данными, растянутыми в вектор.

При работе с растровой графикой размер матрицы соответствует 1:1 размеру изображения. Например: размер картинки 150×150 пикселей (ширина×высота),

значит матрица будет 150×150 ($m \times n$) нейронов. В этом случае входной слой будет содержать в себе 22500 сенсоров.

Сенсоры принимают на вход значение своих пикселей по порядковому номеру. Это значит, что первый нейрон будет запоминать первый пиксель и т. д. На вход сенсора приходит структура данных, полями которой являются три канала изображения — *RGB*. Нейрон преобразует каналы в матрицу-строку и помещает ее в память нейрона.

Для работы с данными в числовом формате у сенсора имеется еще один канал с весовым коэффициентом равным единице. По этому каналу приходит сигнал с вектора входных воздействий. Значение входного сигнала перемножается с весом нейрона и помещается в буфер элемента.

В матрице под каждую измерительную характеристику объекта выделяется отдельный столбец и происходит поочередное заполнение входного слоя. Например, если мы хотим диагностировать сердечную недостаточность у человека, то на входной слой будут подаваться медицинские признаки пациента: потребление кислорода миокардом, артериальное давление, уровень сахара в крови и т. д. В этом случае под каждую из этих характеристик в матрице будет выделен отдельный столбец.

Теперь, когда каждый столбец можно рассматривать как отдельный вектор, следует выполнить его масштабирование: нормализацию и стандартизацию. В первом случае происходит масштабирование вектора в диапазон $[0;1]$. Достигается это с помощью формулы

$$y = \frac{x_j - \min(X_i)}{\max(X_i) - \min(X_i)},$$

где y — преобразованное значение; X_i — вектор входных воздействий (i -й столбец); x_j — входной сигнал нейрона; $\min(X_i)$, $\max(X_i)$ — операции вычисления минимального и максимального значений.

Стандартизация — это процесс приведения вектора каждого признака к такому виду, что его математическое ожидание равно нулю, а дисперсия — единице;

$$y = \frac{x_j - \mu}{\sigma},$$

где y — преобразованное значение; x_j — входной сигнал нейрона; μ — среднее значение выборки, σ — среднее квадратическое отклонение.

Работу одного сенсора можно представить схемой, изображенной на рисунке 1, б.

Нейроны в этом слое хранят полученную информацию и делятся ею с другими нейронами до тех пор, пока не будет получен конечный результат сети, поэтому входной сегмент имеет центральную позицию в структуре нейронной сети, а сами нейроны преимущественно выполняют роль запоминающих элементов и поэтому не имеет никаких функций активации.

Абстрактный сегмент. В этом сегменте реализован на данный момент один нейрон «Цвет». Он определяет цвет объекта по заложенному в него математическому алгоритму. Смысл которого заключается в перерасчете формата *RGB* в *HSL*. *HSL* — это еще один

способ описания цвета. Здесь используется оттенок H (угол на цветовом круге), насыщенность S (количество цвета) и яркость L (насколько яркий цвет).

Рассмотрим на примере $R = 24$, $G = 98$, $B = 118$. Результатом пересчета является: $H = 193^\circ$, $S = 67\%$, $L = 28\%$. Это говорит нам о том, что изображение довольно насыщенное и темное. На цветовом круге 193° очень близко к голубому.

Алгоритм пересчета:

1 Найти минимальное и максимальные значения *RGB*.

2 Вычислить значение яркости L .

3 Определить насыщенность.

4 Рассчитать оттенок.

Вероятностный сегмент.

Вероятностный сегмент состоит из двух слоев ассоциативных нейронов и одного вероятностного нейрона. В ассоциативных слоях происходит непосредственная обработка данных. За счет глубинной структуры сеть находит сложные корреляции и нелинейные зависимости, подготавливая новый вектор признаков, который затем передается на вероятностный нейрон.

Нейроны первого ассоциативного слоя связаны синоптическими связями с матрицей запоминающих элементов и имеют весовые коэффициенты в количестве равном количеству входных нейронов.

Выходом буферного нейрона в первом слое является матрица-строка. Весовые коэффициенты нейронов первого ассоциативного слоя представлены матрицами-столбцами. Каждый выход буферного нейрона (матрица-строка) умножается на весовой коэффициент ассоциативного нейрона (матрица-столбец). Результатом одного умножения является число, которое затем подается на смещенную сигмоидальную (логистическую) функцию активации. Особенностью нейронов с такой передаточной характеристикой является то, что они усиливают сильные сигналы существенно меньше, чем слабые, поскольку области сильных сигналов соответствуют пологим участкам характеристик. Это позволяет предотвратить насыщение из-за больших сигналов. Когда все выходы первого ассоциативного слоя получены, они передаются нейронам второго слоя, который работает аналогичным образом.

Однако, если матрица запоминающих элементов большая, то соответственно и весовых коэффициентов у ассоциативного нейрона будет много. Это приводит к большим значениям при суммировании и некорректным значениям на выходе функций активации. Для решения этой проблемы была взята идея Дональда Хебба, которая заключается в том, чтобы максимально ослабить входные значения, без влияния на синоптические связи между активными нейронами.

Вероятностный нейрон суммирует признаки ассоциативных нейронов. Затем отправляет результат расчета на симметричную сигмоидальную функцию активации, представленную выражением гиперболического тангенса. Выход гиперболической функции активации подается на пороговую функцию, которая переводит нейрон в одно из устойчивых состояний, соответствующих тому или иному объекту.

Стандартная, нелинейная, многослойная архитектура нейронных сетей с правилом обратного распро-

странения ошибки и прямым распространением сигнала испытывает трудности при объяснении основного аспекта человеческой памяти: способности учиться и запоминать на одном примере. Хотя сети такого рода способны запоминать единственный шаблон с высокой степенью точности, они не могут сделать это для серии таких шаблонов, не забывая всё, кроме последних нескольких. Человеческий мозг безусловно проявляет ретроактивное вмешательство в некоторой степени, но, поскольку они могут запоминать явно больше, чем последние несколько элементов из длинного списка, они не проявляют такого рода катастрофического вмешательства, которое, на первый взгляд, кажется неотъемлемым для многослойных сетей с обратным распространением ошибки. Подробно о катастрофическом вмешательстве будет рассмотрено ниже, при описании области памяти. Здесь же, в вероятностном сегменте, стоит отметить принцип обучения, который вносит свой вклад в решение проблемы забывчивости сетей.

В описываемом методе обучения есть три ключевых момента, которые важно отметить. Первый момент заключается в том, что при обучении сети, ортогональности входов достаточно для устранения вмешательства. Это значит, если сеть обучена распознавать A , то она выдаст результат $\bar{A}$, а последующее обучение шаблону B , для получения любых других выходных данных не изменит отображение A в $\bar{A}$, пока B ортогонально A .

Второй ключевой момент заключается в том, чтобы использовать активационные паттерны в ассоциации. Под активационными паттернами в данном случае подразумевается набор активных единиц, ответственных за классификацию. Именно они подлежат обвинению, когда сеть делает ошибку, и их веса корректируются. Обвинение любых других нейронов приводит к избыточным помехам.

Третий ключевой момент касается корректировки весов. Здесь не все так однозначно. Поскольку чаще всего приходится работать с растровой графикой, входной сегмент содержит в себе большое количество сенсоров. Это, как отмечалось выше, приводит к нарушению вектора активации. Поэтому изменение весов на первом вероятностном слое производится по усеченной формуле Дональда Хебба с коэффициентом скорости обучения во много раз меньше весовых коэффициентов нейронов этого слоя.

Стоит также отметить, что к использованию подобного метода обучения авторов вдохновила работа Криса Кортге, который использовал векторы новизны для решения проблемы катастрофического вмешательства нейронных сетей [5].

Следующим и, пожалуй, самым главным является реагирующий сегмент.

Он является самым важным по двум причинам:

- 1 Нейроны в этом участке связаны с областью памяти искусственного интеллекта, где хранится информация об объектах.

- 2 Именно реагирующий нейрон агрегирует полученные данные на предыдущих слоях и мажоритарным методом определяет, что за объект находится на изображении.

Реагирующий нейрон не имеет ни весовых коэффициентов, ни функций активации. Когда данные на предыдущих слоях получены, он обращается к каждому нейрону в отдельности и забирает полученный результат (цвет, форму, размер, вероятность), а затем сравнивает эти данные с теми, что хранятся в области памяти. Тот объект, данные которого ближе остальных расположены к рассчитанным значениям, подается на выход реагирующего нейрона (выход сети).

Область памяти.

Все естественные когнитивные системы, и, в частности, наша собственная, постепенно забывают ранее изученную информацию. Поэтому правдоподобные модели человеческого мозга должны демонстрировать схожие закономерности постепенного забывания старой информации по мере получения новой.

Уже в 1960-х годах ученые Мински и Паперт наблюдали, что процесс обучения новому набору паттернов внезапно и полностью стирал знания сети о том, что она уже усвоила. Они назвали это явление катастрофическим вмешательством (или катастрофическим забыванием). Причиной этого являются те особенности, которые придают сетям их широкие способности к функционированию – весовые коэффициенты. Однако основной проблемой катастрофического вмешательства является отсутствие «стабильности-пластичности». Разработанная система должна быть открыта для ввода новых данных, но не нарушаться ими [4].

Так, в 1990-х годах были предложены различные методы решения стоящей проблемы. Одна из самых интересных принадлежит Макклелланду, Макнотону и О'Рейли. Их идея заключается в том, что природный способ реализации обязательного разделения заключался в эволюции двух отдельных областей мозга, гиппокампа и неокортекса. Они обосновали бимодальную архитектуру мозга следующим образом: «Последовательное приобретение новых данных несовместимо с постепенным открытием окружающего мира и может привести к катастрофическому вмешательству в то, что было ранее изучено. В свете этих наблюдений они предполагают, что неокортекс может быть оптимизирован для постепенного открытия общей структуры событий и опыта, а гиппокампальная система предназначена для обеспечения механизма быстрого приобретения новой информации без вмешательства в ранее открытые регулярности. После этого первоначального приобретения гиппокампальная система служит учителем для неокортекса [4].

На протяжении многих лет и по сей день исследователи изучают проблему катастрофического вмешательства в соединительных сетях. Моделирование истинного последовательного обучения, подобного тому, что делаем мы, люди, требует нахождения соответствующих решений этой проблемы. Недавние исследования, похоже, указывают на то, что одним из возможных решений являются две отдельные, постоянно взаимодействующие области обработки: одна для новой информации, другая для долгосрочного хранения ранее усвоенной информации [4].

Поэтому вторая часть нейронной сети представляет собой область памяти, реализованной с помощью базы

данных *Access*. Информация в базе хранится в виде таблиц, которые содержат в себе сведения об объектах, полученные ранее при решении задач или при обучении. Каждому объекту соответствуют две таблицы. Первая содержит в себе абстрактные сведения – это цвет, форма, размер. Вторая таблица последовательно связана синаптической связью с первой. В ней находится вероятность появления объекта, соответствующая одному из устойчивых состояний вероятностного нейрона, а также весовые коэффициенты вероятностного и ассоциативных нейронов.

Реагирующий нейрон связан синаптическими связями с первой таблицей каждого объекта. А за счет согласованности структуры он имеет полный доступ и ко второй таблице. Когда возникает необходимость решить ранее выполненную задачу и/или продолжить обучение сети по данному направлению, он считывает необходимую ему информацию без потери целостности, а по окончании работы помещает сведения обратно в область памяти.

Аналитический сегмент.

Этот участок представляет собой отдельный класс нейронных сетей, которые называют самоорганизующимися: векторного квантования, самоорганизующиеся карты – базовая нейронная сеть Кохонена. Он применяется всегда при работе с неупорядоченными, числовыми данными и в тех случаях, когда основная сеть затрудняется ответить, что за объект находится перед ней.

Каждый нейрон соединен со всеми компонентами входного слоя. Входной вектор – это описание одного из объектов, подлежащих кластеризации. Количество нейронов совпадает с количеством кластеров, которые должна выделить сеть. В качестве нейронов сети Кохонена применяются линейные взвешенные сумматоры. Входной вектор сети, как и входной слой, имеет вид матрицы:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}.$$

Каждый j -й нейрон описывается вектором весов синаптических связей:

$$W_j = \begin{bmatrix} w_{j1} & w_{j2} & \dots & w_{jn} \\ w_{21} & w_{22} & \dots & w_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{m1} & w_{m2} & \dots & w_{mn} \end{bmatrix}.$$

Структура аналитического участка состоит из m параллельно действующих линейных элементов. Все они имеют одинаковое число входов и получают на свои входы один и тот же вектор входных сигналов. Выходной сигнал j -го линейного элемента:

$$y_j = w_{0j} + \sum_{i=1}^n w_{ij}x_i,$$

где w_{0j} – пороговый коэффициент; w_{ij} – весовой коэффициент i -го входа j -го нейрона; $i = 1, \dots, n$ – номер входного воздействия; $j = 1, \dots, m$ – номер линейного элемента.

Для обучения применяются механизмы конкуренции. При подаче на вход значения вектора X побеждает тот нейрон, вектор которого в наименьшей степени отличается от входного вектора.

После прохождения слоя линейных элементов сигналы посылаются на обработку по правилу «победитель забирает все». Среди выходных сигналов выполняется поиск максимального, определяется его номер. Окончательно, на выходе сигнал с найденным номером равен единице, остальные – нулю [6].

Применение нейронной сети.

Сейчас в мире происходит четвертая промышленная революция, радикально изменившая традиционные производственные процессы, благодаря активному внедрению инновационных технологий. Одной из ключевых движущих сил этой трансформации является искусственный интеллект. Поэтому правило «победитель забирает все» применимо не только к нейросетям, но и к передовым компаниям. Победителем является тот, кто успешно адаптировал искусственный интеллект для повышения эффективности технологических процессов в производственной системе. Вот некоторые из них:

- автоматизация и роботизация. Позволяют производственным системам, а также роботам учиться и адаптироваться в процессе выполнения задач;

- прогнозирование спроса и планирование производства. Позволяют анализировать большие массивы данных для прогнозирования спроса, что помогает точнее планировать производство;

- управление качеством. Нейронные сети могут принимать и анализировать информацию с первичных преобразователей, установленных на линиях, для выявления дефектов продукции на ранних стадиях. Это снижает количество брака и позволяет оперативно реагировать на проблемы, улучшая качество конечного продукта;

- техническое обслуживание оборудования. Благодаря алгоритмам машинного обучения нейросети могут предсказывать возможные поломки оборудования, анализируя его состояния, операционные данные и др. [6].

С каждым годом эта технология быстро развивается, но не так быстро, как область ее применения. Например, в 2019 году искусственный интеллект от Google проводил медицинское обследование, при этом обнаружил рак легких быстрее и лучше, чем шесть рентгенологов при таком же медицинском осмотре. Крупные автопроизводители внедряют искусственный интеллект для анализа данных с датчиков на своих сборочных линиях, что позволяет снижать количество брака. На предприятиях пищевой промышленности искусственный интеллект используется для мониторинга состояния оборудования и анализа его работы в реальном времени, что предотвращает поломки и снижает затраты на ремонт.

Несмотря на то, что в целом нейронные сети успешно справляются с вышеописанными задачами, существует проблема подбора оптимальных параметров для различных условий, таких как количество слов в архитектуре нейронной сети, а также прочие характеристики, связанные с формированием алгорит-

мов. Помимо этого, дополнительную наибольшую сложность несет экспертный выбор наиболее подходящих топологий нейронных сети под те или иные данные, что в условиях работы с разными данными может быть затруднительным и требует привлечения экспертов в области машинного обучения.

И здесь открывается еще одно преимущество разработанной нейронной сети – это ее гибкость. Она не требует выбора шаблона сети и функций активации. Количество слоев фиксировано. Единственным изменяемым параметром является скорость обучения, которая влияет на точность и время обучения.

Энергетика – это одна из ключевых отраслей экономики, которая обеспечивает функционирование всех других сфер жизни общества. С каждым годом эта отрасль становится все более важной из-за растущих потребностей в энергии и вызовов, связанных с изменением климата и ограниченностью природных ресурсов. Энергетика охватывает производство, преобразование, передачу и распределение энергии для удовлетворения потребностей населения и промышленности.

Наиболее перспективными с точки зрения использования искусственных нейронных сетей в электроэнергетике являются следующие области: прогнозирование нагрузки электроэнергетических систем; диагностика и локализация неисправностей; оптимизация распределения нагрузки; оценка надежности; динамическая устойчивость электроэнергетических систем.

Рассмотрим работу сети на примере управления атомными электрическими станциями (АЭС). Современные подходы к решению проблемы управления АЭС базируются на мощных, обладающих высокой степенью интеллектуализации, информационных системах поддержки операторов энергоблока по ведению технологического процесса. Важнейшей функцией систем контроля и управления технологическими процессами является функция диагностирования состояния оборудования энергоблока. Поэтому в качестве объекта исследования выступает ядерный реактор типа ВВЭР-1000/В-428. Его основные характеристические признаки, по которым будет выполняться диагностика, следующие:

- температура внутри реактора, измеряемая в градусах Цельсия ($^{\circ}\text{C}$);
- расход охлаждающей жидкости, циркулирующей через реактор, в литрах в секунду (л/с);
- давление внутри реактора, измеряемое в мегапаскалях (МПа);
- уровень радиации внутри зоны реактора, измеряемый в микрозивертах в час (мкЗв/ч);
- скорость вращения турбины в оборотах в минуту;
- состояние насоса охлаждающей жидкости.

Задача нейронной сети определить аномалию для ядерного реактора (1 – аномалия есть, 0 – аномалии нет) на основе показаний первичных преобразователей. Это может быть любое аварийное событие, вызванное механическим или электрическим отказом (например, потеря потока теплоносителя – значительно снижает эффективность отвода тепла от активной зоны, активная зона реактора будет повреждена и подвергнет риску множество людей).

Набор данных содержит 2200 примеров (исходные данные получены на сайте *Kaggle*), соответствующих двум состояниям объекта. Количество примеров обучающей выборки 2000 (по 50 % на каждый класс). Количество примеров тестовой выборки 200. Для решения задачи были задействованы входной и вероятностный сегменты сети. Вероятностный нейрон имел два состояния: 0 и 1, соответствующих 2 классам. По результатам обучения сеть не сделала ни одной ошибки при классификации.

Однако бывают случаи, когда не для всех примеров обучающей выборки заблаговременно известны правильные ответы. Тогда применяется парадигма обучения нейронных сетей без учителя. Главной чертой этого метода обучения является его самостоятельность. При обучении предпринимаются попытки определения внутренней структуры поступающих в сеть данных с целью распределить образы по классам (категориям). По такому принципу работает аналитический сегмент. И чтобы продемонстрировать его работу был выбран специальный набор данных от PJM. Данные представляют собой почасовое потребление электроэнергии, выраженной в мегаваттах (MWt). Регистрация производилась с 2004 по 2018 год. Всего *DataSet* имеет свыше 127000 примеров. Сеть должна понять, как меняется потребление энергии в зависимости от времен года, не зная при этом заранее правильного ответа.

По умолчанию аналитический сегмент настроен выполнять кластеризацию по двум классам, а коэффициент скорости обучения имеет значение, ориентированное на более глубокое и детальное изучение. Поскольку времен года четыре, аналитический сегмент также будет содержать четыре нейрона.

По результатам обучения сеть все же распределила данные по двум классам, потому что строгой закономерности использования электроэнергии по месяцам не прослеживалось. Каждый месяц индивидуален, а потребление энергии зависит от температурного режима, продолжительности дня, наличия котла и кондиционера в помещении. Однако она все равно выявила, что самое большое потребление было зимой. А все остальные данные (лето, осень, весна) отнесла в отдельный класс.

Входной сегмент нейронной сети способен обрабатывать изображения любого формата, а вероятностный нейрон обладает высокой чувствительностью. Эти способности позволяют нейромодели отлично решать задачи классификации. Но реагирующий нейрон, дополненный областью памяти, расширяет ее потенциал способностью к запоминанию. В связи с этим испытываем бимодальную систему на выявлении нештатных режимов работы преобразователей энергии, запомним нескольких последних паттернов и выполним распознавание памяти.

Преобразователем энергии может быть любая электрическая машина: трансформатор, двигатель или генератор. В данном случае выступает трансформатор отечественного производства. Такие трансформаторы просты по конструкции, надежны и удобны в эксплуатации. Случаи повреждения вызваны нарушением действующих правил эксплуатации, аварийными и ненормированными режимами работы, старением изоляции обмоток, некачественной сборкой их на заводе или при монтаже и ремонте. Рассмотрим возможные наиболее распространенные неисправности силовых трансформаторов:

- повреждение магнитопровода (пожар стали) связано с нарушением изоляции между отдельными листами стали и стягивающими их болтами;
- ослабление прессовки магнитопровода. Свободное колебание крепящих деталей, колебание крайних листов магнитопровода;
- старение и износ изоляции. Происходит из-за длительной эксплуатации трансформатора, однако наблюдается и преждевременный износ, который является результатом частых перегрузок или недостаточно интенсивного охлаждения при номинальной нагрузке;
- межвитковые замыкания;
- обрыв обмотки, возникающий при сгорании выходных концов вследствие термического действия.

На вход сети подаются изображения, представ-

а)



б)

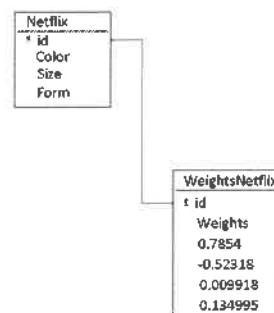


Рисунок 2 – Примеры вектора входных воздействий (а) и сохранения весовых коэффициентов ассоциативного нейрона (б)

Бимодальная система продемонстрировала неплохие результаты по распознаванию памяти. Она запомнила информацию активационных паттернов и безошибочно выполнила повторную классификации.

Задачи, стоявшие перед рассмотренными нейромоделями, на сегодняшний день уже кажутся тривиальными. Однако развитие шаблона рассмотренной структуры нейромодели, наращивание архитектуры и укрепление связей между слоями нейронов делают ее более точной и эффективной, позволит охватывать новые сферы и решать новые, более сложные задачи.

Список литературы

- 1 Головкин, В. А. Нейросетевые технологии обработки данных : учеб. пособие / В. А. Головкин, В. В. Краснопрошин. – Минск : БГУ, 2017. – 263 с.
- 2 Фишбах, Д. Психика и мозг / Д. Фишбах // В мире науки. – 1992. – № 11–12. – С. 10–20.

ленные графиками зависимостей, описывающих три состояния объекта исследования: отказ, предотказное состояние и нормальный режим работы. Под обучение в этот раз будет выделено 300 изображений и 2700 входных сигналов для проверки работы. Пример вектора входных воздействий представлен на рисунке 2, а.

Вероятностный нейрон имеет три уровня чувствительности и по результатам обучения распределил тестовые данные по трем классам, не сделав ни одной ошибки.

На рисунке 2, б показано, как весовые коэффициенты одного нейрона хранятся в области памяти и с какими ячейками они еще взаимодействуют.

3 Куталев, А. А. Современные методы преодоления катастрофической забывчивости нейронных сетей и экспериментальная проверка вопросов их структуры / А. А. Куталев, А. А. Лапина // Компьютерные исследования и моделирование. – 2023. – Т. 15, № 1. – С. 45–56. – DOI: 10.20537/2076-7633-2023-15-1-45-56.

4 French, R. M. Catastrophic forgetting in connectionist networks / R. M. French // Trends in cognitive sciences. – 1999. – Vol. 3, № 4. – P. 128–135.

5 Korte, C. A. Episodic Memory in Connectionist Networks / C. A. Korte // Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society. – 1990. – Vol. 12. – P. 764–771.

6 Ибрагимова, Н. А. Эффективное использование искусственного интеллекта в производстве / Н. А. Ибрагимова, З. З. Ибрагимов // Экономика и социум. – 2024. – № 10-1(125). – С. 639–642.

7 Шарипбай, А. А. Нейронные сети : учеб. / А. А. Шарипбай. – Астана : Мастер ПО, 2018. – 397 с.

Получено 15.05.2025

V. N. Galushko, V. O. Belkin. Features of the application of techno-intelligence in transport and energy industry.

The integration of the experience of scientists over the past 80 years of work in the field of artificial intelligence made it possible to develop a neural network architecture that eliminates the shortcomings of previously created connectionist systems. The new system is capable of working with numerical data and images in color and black and white formats; it has high sensitivity and is used primarily to solve technical diagnostic problems. Such a neural network, supplemented by a memory area with an adapted learning method, finds wide application in the energy industry to solve complex technical problems. The article will consider various ways of using the bimodal system - determining the technical condition of a nuclear reactor, analyzing and systematizing unordered data on energy resources, recognizing memory and classifying faults in electrical machines.

УДК 656.22

А. А. МИХАЛЬЧЕНКО, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ ХОЗЯЙСТВОВАНИЯ

Приведены результаты исследований по организации прогнозирования и планирования эксплуатационных показателей на железнодорожном транспорте на уровне администрации железной дороги в новых условиях хозяйствования. Учёт опыта других стран по организации эксплуатационной работы и внесению методических изменений в систему прогнозирования и планирования результативности железнодорожного транспорта. Рассмотрены дополнения методического плана и изменения в технологии прогнозирования и планирования эксплуатационных показателей железной дороги при выполнении перевозок грузов и пассажиров. Определены экономические последствия использования изменений в методическом подходе к прогнозированию эксплуатационных показателей на железнодорожном транспорте.

Свободное образование условий выполнения перевозочного процесса на железнодорожном транспорте позволило отменить обязательную систему предварительных месячных и долговременных заявок грузоотправителей, министерств и ведомств на перевозки грузов (кроме декадных заявок). Железные дороги получили хозяйственную самостоятельность в формировании спроса собственных работ и услуг. При этом повышена их экономическая ответственность за разработку эффективных прогнозов эксплуатационной работы транспортных организаций. Современное прогнозирование предусматривает развитие контрактных и договорных отношений, улучшение качества транспортного обслуживания пользователей железнодорожным транспортом [1]. Прогнозирование выполняют в целях лучшего понимания ожидаемой ситуации, с учётом которой появляется возможность принимать обоснованные решения по долгосрочному развитию структурных подразделений и инвестиций с минимальными рисками. Задача прогнозирования эксплуатационных показателей на железной дороге предусматривает вариантность и адаптивность планов-прогнозов путем их корректировки и прогнозирования с учётом изменения рынка транспортных услуг, его финансового состояния. А также формирование платежеспособного спроса на железнодорожные перевозки по видам, объемам, структуре и направлениям передвижения, обеспечивающего максимально возможное удовлетворение потребностей в перевозках и конкурентные позиции железной дороги.

При рассмотрении современной системы прогнозирования транспортной деятельности следует учитывать значительные изменения по отношению к прошлому периоду:

- возросло количество экспедиторских организаций различного уровня и принадлежности на транспорте;
- на транспорте созданы операторские компании, которые эксплуатируют транспортно-логистические центры с интеграцией функций логистики и перевозки;
- конкуренция между видами транспорта и внутри отрасли возрастает по мере формирования свободного рынка транспортных услуг;
- на рынке транспортных услуг работают арендаторы и собственники грузовых вагонов, локомотивов и инфраструктуры.

В современных условиях прогнозирование предусматривает обоснованное суждение о возможных технологических состояниях объектов железнодорожного транспорта, связанных с перевозками грузов и пассажиров на определённый период, путей и сроков их реализации. Оно выполняет задачи эффективного управления эксплуатационной работой железнодорожной администрации, интеграционные задачи транспортного бизнеса.

Особенности современной системы прогнозирования и планирования грузовых перевозок включают:

- 1) использование индикативного подхода к ожидаемым размерам перевозок и другим значениям эксплуатационной работы железной дороги, особенно при стратегическом планировании;
- 2) переход к разработке в основном планов и прогнозов на основе маркетинговых обследований потенциальных пользователей услуг железной дороги, проектов развития градообразующих отраслей и анализа статистической информации;
- 3) применение непрерывного планирования с учётом изменения спроса на перевозки грузов и пассажиров на рассматриваемый период и конъюнктуры рынка транспортных услуг.

Рассматриваются следующие виды прогнозов эксплуатационных показателей железной дороги [2]:

- по продолжительности практического выполнения;
- содержанию: экономические, технологические, технические;
- широте охвата ожидаемых событий выполнения перевозочного процесса;
- географии производственных процессов: глобальные (по международным транспортным коридорам), национальные (в границах государства), региональные;
- методам разработки: балансовые, экспертные, экстраполяционные;
- методологии разработки: генетические, целевые;
- факторному признаку: одно- и многофакторные;
- периодичности разработки.

На железнодорожном транспорте разрабатываются виды прогнозов перевозок по продолжительности практического их выполнения: оперативные, годовые, среднесрочные на 5 лет, стратегические на 5–10 и более лет.

Оперативное планирование связано с технологией перевозочного процесса и предусматривает реализацию

плановых решений структурными подразделениями железной дороги в течение суток, внутри суточного планового периода за 3, 6, 12 ч.

Годовые планы построены на прогнозе перевозок с их детализацией по основным массовым грузам, составляющим 70–80 % всего грузооборота. Годовой план перевозок имеет разбивку объёмов перевозок и грузооборота по месяцам и кварталам. Они привязаны к обеспечению ресурсами железной дороги

$$R_{\text{пл}} \leq \sum (Q_{\text{пл}}; W_{\text{пл}}; M_{\text{уг}}; T_{\text{тр}}), \quad (1)$$

где $Q_{\text{пл}}$ – объём перевозок грузов и пассажиров (приведенные тонно-километры); $W_{\text{пл}}$ – вагонный ресурс; $M_{\text{уг}}$ – тяговый ресурс; $T_{\text{тр}}$ – технологический ресурс: провозные и пропускные способности железнодорожных коммуникаций.

Стратегические долгосрочные и среднесрочные прогнозы служат основой для выработки стратегии развития железной дороги, реконструкции и развития материально-технической базы организаций железнодорожного транспорта. В них выполняется:

- макроэкономический анализ совместимости товарного и транспортного рынков;
- изменения в размещении производительных сил;
- развитие градообразующих отраслей (используется при прогнозировании пассажирских перевозок) и внешнеэкономических связей;
- определение прогноза направлений продвижения грузов в зависимости от политических ситуаций в регионе, по участками и узлам железных дорог;
- совершенствование организации мультимодальных (смешанных) перевозок грузов;
- развитие транспортной инфраструктуры с учётом изменения направления и объёма перевозок.

В процессе прогнозирования устанавливается тренд развития структурных подразделений железной дороги при освоении ожидаемых объёмов перевозок грузов и пассажиров, необходимых ресурсах для их освоения. Качественные прогнозы эксплуатационной работы позволяют делать бизнес-процессы в транспортной деятельности более эффективными.

Из приведенной на рисунке 1 диаграммы видно, что в 2020–2024 годах ресурсная база железной дороги отстаёт от прогнозируемого объёма перевозок. Это привело к дисбалансу объёмов железнодорожных перевозок и требуемых ресурсов.



Рисунок 1 – Диаграмма результативности прогнозирования железнодорожных перевозок

При развитии информационных технологий прогнозирование предусматривает оптимальное и своевременное принятие решений по функционированию транспортных организаций. Для построения модели прогнозирования эксплуатационных показателей в работе применяется математический аппарат, в основу которого положены регрессионный анализ и метод наименьших квадратов. Использование этого математического аппарата позволяет сформировать линейные и нелинейные модели. Коэффициенты детерминации степенной и показательной моделей отличаются от линейной на 5 %. Поэтому в качестве модели перевозочного процесса принята линейная модель, так как она обладает простотой и сравнительно высоким коэффициентом детерминации.

Проблема прогнозирования грузовых железнодорожных перевозок с целью повышения их перспективной экономической эффективности на протяжении многих лет является предметом научных исследований. Значительное внимание при формировании моделей прогнозирования уделяется вопросам прогнозирования перспективного спроса на грузовые железнодорожные перевозки, разработки рационального использования транспортной инфраструктуры, формирования оптимальной топологии железнодорожной сети с учётом перспективных грузопотоков.

В отечественной практике можно отметить применение методов межотраслевых балансов для оценки взаимосвязи между показателями промышленного производства и грузовыми перевозками, прогнозирования перспективных грузопотоков. Проводятся исследования по оценке приемлемой конкурентоспособности железнодорожного транспорта в рамках транспортного комплекса в целом. При её оценке для новых условий хозяйствования используется математическая зависимость линейных однородных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами.

$$y^{(n)} + p_1 y^{(n-1)} + \dots + p_{n-1} y' + p_n y = 0, \quad (2)$$

где $p_1, p_2, \dots, p_{n-1}, p_n$ – постоянные коэффициенты, отражающие объёмы отправления и получения грузов, t, y – объёмы грузовых потоков, направляемые на выходные пункты железной дороги.

При формировании модели эксплуатационной работы региона или железной дороги в целом используется частное решение получения выходных параметров

$$y_i = e^{kx}, \quad (3)$$

где k – постоянные коэффициенты функционального назначения (геополитики, финансового обеспечения, ресурсного наполнения); x – входные параметры транспортной системы (погрузка груза, поступление груза под выгрузку, использование порожних вагонов, тяговое обеспечение, использование железнодорожной инфраструктуры и топливно-энергетических ресурсов).

Изменение направлений движения грузопотоков с западного направления на северное и восточное отразилось на загрузке участков, которые не использовались в полном объёме. Движение поездов на участках, контактирующих с ЕС и Украиной, приостановлено,

$k = 0$. Произошло перенаправление грузопотоков по новым железнодорожным направлениям. При формировании модели эксплуатационной работы с экспортно-импортными грузами имеет место общее решение уравнений

$$y_{n-3}(x_n) = y_{00}(x_{00}) + y_n(x_n), \quad (4)$$

где $y_{00}(x_{00})$ – общее решение однородного уравнения (3) для перевозок экспортно-импортных грузов; $y_n(x_n)$ – частные решения функциональных уравнений.

Методика оценки средней величины и прогнозного доверительного интервала среднего расстояния доставки одной тонны груза железнодорожным транспортом. Построение математической модели по статистическим годовым данным грузооборота, пассажирооборота, суммарного объема доставленного груза выполняется с учётом оценки качества модели, а также прогнозирования средней величины и доверительного интервала среднего расстояния доставки одной тонны груза [3].

Следует учитывать, что прогнозы содержат информацию, необходимую для принятия решений во всех областях бизнеса на транспорте:

- в производственной деятельности структурных подразделений железных дорог – статистика результативности принятых решений по организации перевозок грузов и пассажиров;
- проведении структурированного маркетинга выполненных транспортных процессов и потоков – своевременное определение основных направлений передвижения грузов и пассажиров по периодам года;
- финансовой деятельности – выбор системы финансового обеспечения структурных подразделений железной дороги, банковского обслуживания, особенно в международных расчётах;
- при управлении персоналом – создание креативного персонала.

Руководители администраций железных дорог используют результаты прогнозирования для разработки этапов и мероприятий для получения ожидаемого результата эксплуатационной работы железной дороги.

Главная задача прогнозирования эксплуатационной работы на железнодорожном транспорте – управление рисками при выполнении грузовых и пассажирских перевозок. Оно позволяет снизить уровень влияния неопределённости прогнозируемой ситуации на полигоне железной дороги. Качественный прогноз обеспечивает снижение влияния потенциальных рисков и неопределённости, с которыми может столкнуться транспортная организация в прогнозном периоде. Для снижения влияния рисков на результативность эксплуатационной деятельности железной дороги разрабатываются конкретные мероприятия и стратегии выполнения перевозочного процесса.

Для железнодорожного транспорта при прогнозировании его работы важными являются оценка перспективы развития производственной базы и ожидаемые перспективы эксплуатационной работы.

Прогноз позволяет оценить перспективы развития экономики отрасли и основных видов её экономической

деятельности. В мировой практике наиболее распространёнными подходами к прогнозированию показателей железнодорожного транспорта и развития взаимодействия его с другими видами при освоении экономики страны являются гравитационные модели. Они ориентированы на оценку экономических эффектов [4]. При этом методические разработки прогнозирования эксплуатационных показателей железной дороги активизированы при переходе от ситуационно-эвристических методов к системным. В условиях плановой экономики в стране использовались ситуационно-эвристические методы прогнозирования. Методика их использования предполагала наступление будущей производственной ситуации с учётом повторяемости событий в зависимости от сопутствующих ситуаций.

Из приведенной на рисунке 2 диаграммы видно, что все отмеченные методы прогнозирования железнодорожных перевозок дают высокую сходимость.



Рисунок 2 – Результативность методов прогнозирования железнодорожных перевозок

Конечным этапом прогнозирования эксплуатационной работы железной дороги является снижение эксплуатационных затрат и обеспечение перевозок грузов и пассажиров необходимыми ресурсами. Номенклатура планируемых видов транспортной деятельности железной дороги и степень детализации планов существенно различаются по видам планов. Перед структурными подразделениями железной дороги, для которых они составляются, ставятся различные цели. Особенности методики разработки прогнозов, исходя из различий в сроках разработки и их реализации, зависят от качества исходных данных.

При составлении прогнозов используются трендовые показатели по следующим направлениям:

- влияние геополитических условий региона по направлениям перевозок, наличия санкционных случаев, ограничений на отгрузку продукции промышленных предприятий, перевозки транзитных грузов;
- колебания отгрузки грузов по периодам различной продолжительности;
- ресурсное обеспечение перевозок: наличие необходимых погрузочных и тяговых ресурсов; необходимое развитие транспортной инфраструктуры;
- финансовое обеспечение перевозок грузов и пассажиров.

Трендовые показатели при выполнении эксплуатационной работы железной дороги определены математической зависимостью

$$\beta_{\text{инт}}^{\text{пр}} = \frac{\sqrt{\beta_{\text{изм}}^{\text{гр}} (PI)_{\text{баз}}} + \sqrt{\beta_{\text{изм}}^{\text{по}} (AI)_{\text{баз}}}}{\sqrt{(PI)_{\text{баз}} + (AI)_{\text{баз}}}}, \quad (5)$$

где $\beta_{\text{изм}}^{\text{гр}}$, $\beta_{\text{изм}}^{\text{по}}$ – тренд изменения грузооборота и пассажирооборота в зависимости от влияющих факторов.

Расчёт трендовых показателей предусматривает учёт следующих составляющих.

Для грузовых перевозок:

- последствия геополитических изменений территории прогнозирования: введение санкций и запретов на перевозки грузов по отдельным направлениям, активизация отправления грузов на новые рынки, введение новых видов технологии интегрированного использования видов транспорта различных государств;
- платежеспособность промышленных предприятий, мирового и регионального уровня инфляции, устойчивой банковской системы, использование национальных валют во взаимных расчётах;
- изменение сервиса и качества выполнения грузовых перевозок, новый уровень транспортных услуг на всех этапах выполнения перевозок грузов;
- влияние рекламной деятельности на железнодорожном транспорте и степени развития и использования IT-технологий при обслуживании клиентов железной дороги;
- индекс изменения тарифной политики Белорусской железной дороги и государства;
- сезонность перевозок грузов, связанная с использованием Северного морского пути.

В области выполнения пассажирских перевозок:

- геополитические изменения территории прогнозирования. Введение ограничений передвижения граждан Беларуси и России в страны ЕС (обнуление железнодорожных перевозок по западной границе союзного государства);
- изменение уровня платежеспособности граждан, введение новой системы формирования их доходов;
- изменение уровня сервиса и качества выполнения пассажирских перевозок, использование более комфортных условий проезда пассажиров в международном сообщении;
- влияние рекламной деятельности на железнодорожном транспорте и степени развития и использования IT-технологий при обслуживании пассажиров (продажа билетов, заказ мест в поездах);
- проведение открытой международной политики страны (введение безвизового режима пересечения государственной границы, введение единого таможенного пространства);
- индексное проведение тарифной политики Белорусской железной дороги и государства и сдерживание ценовой нагрузки на пассажиров в региональном и межрегиональном сообщении;
- сезонность перевозок пассажиров: перевозки в летний период составляют более 60 % от годового объёма.

С применением трендов при формировании объёма перевозок грузов и пассажиров используются результаты прогнозов на основе глубокого анализа данных функционирования железной дороги и её подразделений за предшествующие периоды и оценке отклонений от выполнения прогнозных показателей. При этом важное значение имеет бюджетирование имеющихся ресурсов,

необходимых для выполнения перевозочного процесса. Железная дорога рассматривает этот вид прогноза для определения технологических и финансовых целей на прогнозный период.

Обеспечение эффективности выполнения прогноза эксплуатационной работы железной дороги позволяет формировать рентабельные перевозки, их объёмы и организацию производственной деятельности.

При формировании спроса на пассажирские перевозки рассматривается учёт перспектив сбалансированного развития градообразующих отраслей в стране. Динамика спроса на пассажирские перевозки при сбалансированном развитии градообразующих отраслей показана на рисунке 3.

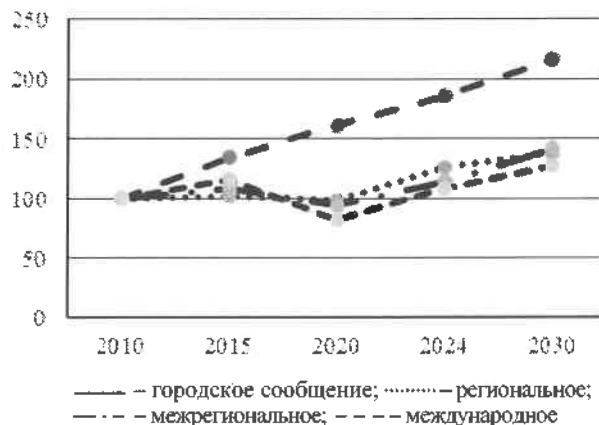


Рисунок 3 – Перспектива спроса на пассажирские перевозки при сбалансированном развитии градообразующих отраслей

Из приведенного рисунка видно, что предполагается интенсивный рост объёмов перевозок пассажиров в городском сообщении между столицей и городами-спутниками.

При формировании прогнозных эксплуатационных показателей работы железной дороги рассматривается её взаимодействие с пользователями транспорта и стратегии развития инфраструктуры. Рассматривается обеспечение рациональности использования ресурсов железной дороги и оптимизации транспортного фактора в системе ценообразования на товары и услуги.

Основные методы прогнозирования и планирования перевозок грузов включают маркетинговые, логистические, балансовые и оптимизационные с использованием современных информационных технологий. При их разработке используются экономико-математические и регрессионные методы прогнозирования.

Регрессионные методы прогнозирования эксплуатационных показателей имеют хорошие результаты в случае, когда тенденции развития этих показателей в будущем соответствуют предыстории. Такая ситуация наблюдается не всегда. Это характерно для показателей и факторов, характеризующих перевозочный процесс железнодорожным транспортом, функционирующий в условиях неопределённости и риска. В связи с этим рекомендуется дополнительно к статистическим данным использовать отзывы экспертов в исследуемой предметной области, на различные периоды прогнозирования. Эти мнения представляются в виде точечного или интервального значения. В работе используются

точные экспертные суждения, которые создаются группой экспертов на прогнозируемый год по базовым показателям и значимым факторам.

В организации железнодорожных перевозок используется комплексное прогнозирование по каждому значимому фактору и базовому значению показателя. Используются прогнозные факторные модели на основе статистической информации в виде временных рядов с возможным дополнительным учётом экспертной информации в виде точечных суждений. Наиболее приемлемыми рассматриваются модели временных рядов с использованием лаговых переменных. При этом рассматривается модельная схема их использования.

В соответствии с приведенной на рисунке 4 схемой рассматривается формализация модели.



Рисунок 4 – Модель использования временных рядов экспертной оценки выполнения перевозочного процесса в условиях санкций

Регрессивная модель постоянного значения

$$y_t = \beta_1 y_{t-1} + \beta_2 y_{t-2} + \dots + \beta_j y_{t-j} + \varepsilon_t y_t, \quad (6)$$

где β_j – трендовый поправочный коэффициент показателя эксплуатационной работы; y – объёмы грузовой работы на выходные участки региона и железной дороги; ε_t – удельный экономический показатель перевозки.

Модель скользящего среднего значения показателя эксплуатационной работы железной дороги

$$y_t = \varepsilon_1 y_{t-1} + \varepsilon_2 y_{t-2} + \dots + \varepsilon_q y_{t-q}, \quad (7)$$

где q – весовой индекс структурного элемента эксплуатационной работы железной дороги в условиях санкций и ограничений со стороны внешнего оператора.

Регрессивная модель скользящего среднего значения используется при неустойчивом выполнении показателя по учетным периодам. Она строится с учетом

$$y_t = \beta_1 y_{t-1} + \beta_2 y_{t-2} + \dots + \beta_p y_{t-p} + \gamma_t \varepsilon_t y_{t-1} + \gamma_t \varepsilon_t y_{t-1} + \gamma_t q_t y_{t-q}, \quad (8)$$

где γ_t – индекс управления транспортным потоком на железной дороге.

С использованием модели временных рядов при организации перевозок экспортно-импортных грузов в условиях появления запретов и санкций различного уровня достигаются минимальные отклонения объемов эксплуатационной работы и финансового результата.

Прогнозирование грузовых железнодорожных перевозок является комплексной задачей, решение которой требует построения единой системы непротиворечивых прогнозов. Прогноз должен охватывать и детализировать грузовую базу в различных разрезах:

– по видам перевозок;

– основным номенклатурным позициям перевозимых грузов;

– основным направлениям перевозок с учётом использования других видов транспорта.

Интегрированный прогноз может быть выстроен на основе анализа отчётных (исторических) данных об объёмах грузовых железнодорожных перевозок. Однако экстраполяция исторических данных в условиях волатильности рынков не может считаться приемлемым методом получения прогноза. Корректировка прогнозных объёмов проводится на основе учёта факторов, воздействующих на грузовые железнодорожные перевозки. В результате проведенных изысканий возникает задача согласования исторических данных об объёмах перевозок и экспертных моделей, описывающих область и характер влияния различных факторов. Главная цель прогнозирования с использованием исторических аналогий статьи – решение задачи сбора и систематизации исторических данных об объёмах железнодорожных грузовых перевозок и статистического анализа этих данных с использованием экспертных оценок.

Экспертные оценки рассматриваются для нескольких вариантов:

– первый – не предполагает существенного изменения базовых показателей эксплуатационной работы, финансовых показателей (баланса доходов и расходов), технологических показателей: пробега вагонов и локомотивов, использования инфраструктуры относительно предыдущего года;

– второй – предполагает реальную оценку частных показателей, которые имеют различную относительную важность для железной дороги. Эта важность характеризуется весовыми коэффициентами, информацией, полученной от экспертов. Различная относительная важность частных прогнозных значений позволяет повысить точность прогноза за счёт изменения весовых коэффициентов [5].

Прогнозирование спроса на железнодорожные перевозки рассматривается при выполнении эмпирических исследований на протяжении нескольких десятилетий. Исследования спроса на перевозки приводят к широкому диапазону эластичности цен и их объёмов. Это затрудняет обобщение результатов различных исследований за продолжительный период времени. В результате искажается тренд эксплуатационных показателей и допускается неточность прогнозирования.

Анализ совокупного спроса на грузовые перевозки предусматривает многомерные эконометрические методы временных рядов и модели векторной авторегрессии. При этом учитывается совокупная пассажирская и грузовая транспортная активность трех видов транспорта: автомобильного, железнодорожного и воздушного.

Промышленное производство и индекс цен определяют долгосрочный спрос на грузовые перевозки. Долгосрочная эластичность спроса по доходу для автомобильного транспорта составила 0,936, для железнодорожного – 1,918, морского – 2,649. Как показывает величина эластичности, из-за отрицательной константы прогнозируемый рост спроса на грузовые перевозки не может быть высоким. С учётом того, что модели спроса включают в себя ВВП страны, помимо

тарифных барьеров имеется ряд нетарифных барьеров: инфраструктурных, пограничных, таможенных административно-правовых. Новые потоки грузов, представляющие будущий рост трансевразийского направления, накладывают критическое инфраструктурное ограничение из-за низкой транспортно-перерабатывающей мощности железных дорог, в том числе пунктов пропуска на границе.

Большое значение для перевозок между странами Европы и Азии имеют ставки контейнерных перевозок. Они демонстрирует значительные колебания за период с 2009 по 2024 год. За этот период фрахтовые ставки снизились почти в два раза: с 1400 дол. США за TEU до 770 дол. США за TEU. В 2025 году они вновь выросли до 2318 дол. США за TEU. Несмотря на это в 2025 году глобальный спрос на контейнерные перевозки вырос по различным направлениям перевозок на 7–12 % [6].

Актуальность разработки согласованной системы прогнозных расчётов спроса на межрегиональные грузовые железнодорожные перевозки обусловлена необходимостью оценки возможностей роста и развития транспортной инфраструктуры регионов и пространственного развития страны в целом. Предметом прогнозирования перевозок является региональная экономика и межрегиональные связи, сформированные на основе системы перевозки грузов по железным дорогам. Исходные данные прогнозирования опираются на государственную статистику и договоры поставок предприятий страны. Методология прогнозирования основана на методах и моделях межотраслевого баланса. Поставленные задачи решались с применением статической модели межотраслевого баланса и методов корреляционно-регрессионного анализа. Результаты прогнозных объёмов грузовых железнодорожных перевозок рассматриваются по двум сценариям макроэкономического развития. Более высокий вариант развития экономики страны предусматривает среднегодовые темпы экономического роста 102,2–105,0 % в год. Такой рост обеспечивает прирост объёма грузовых железнодорожных перевозок в 16,2 % к 2035 году по сравнению с базовым вариантом, в котором закладывалась гипотеза упадка экономики на уровне 1 %. В наибольшей степени этот прирост достигается за счёт перевозок внутреннего сообщения, в структуре которых доля строительных грузов занимает порядка 36,3 % от суммарных перевозок. В экспорте наибольший вес принадлежит энергетическим грузам – 42,1 %, калийным удобрениям – 37,6 % от суммарного объёма. Прирост объёмов отправления грузов железнодорожным транспортом обеспечивают предприятия добывающей и металлургической промышленности.

В мировой практике наиболее распространёнными подходами к анализу и прогнозированию взаимодействия экономики страны, регионов и транспорта являются гравитационные модели, общие модели пространственного равновесия. Основной поток грузов на сети железных дорог составляют сырьё и энергетические грузы.

Прогнозная динамика импортных перевозок грузов используется в случаях [7]:

– во-первых, прогноза вида экономической деятельности и народного потребления, предъявляющего стабильный спрос на конкретный товар (груз);

– во-вторых, прогноза транспортного обеспечения импорта вида экономической деятельности, который включает в себя производство товара (груза).

Рынок железнодорожных перевозок является одним из наиболее динамично развивающихся его сегментов в России и Беларуси. Он несёт особую социальную нагрузку. Это подтверждается статистическими данными. Они рассматривают основные социально-экономические показатели работы железнодорожного транспорта: о валовой добавленной стоимости транспорта, финансовых результатах деятельности организаций транспорта, численности занятых и заработной плате работников, инвестициях в основной капитал, экспорте и импорте железнодорожных перевозок. С учётом кардинального изменения направления перевозок грузов выросла средняя их дальность. Она выросла в среднем в 2–2,5 раза.

При разработке прогнозов железнодорожных перевозок следует учитывать, что транспортная инфраструктура генерирует значительную часть доходов железной дороги. Прямой вклад в экономику производственных связей страны, в структуру добавленной стоимости железной дороги составляет около 11,6 %.

Имеется также косвенное влияние железнодорожного транспорта на развитие экономики страны. По мере усложнения технологии транспортировки грузов и удлинения технологических связей с другими секторами мировой экономики оно многократно усиливается. При этом для оценки перспективы развития технической базы железнодорожного транспорта в первую очередь рассматриваются перспективы влияния транспортной отрасли на экономику страны в целом.

При разработке прогнозов используется факторный анализ в зависимости от выбора модели. В основе предлагаемой прогнозной модели лежит следующая предпосылка:

– субъект управления имеет ориентир по объёмам перевозок и эффективности работы железнодорожного транспорта;

– прогноз по объёмам перевозок задается с учётом достигнутых показателей за прошлые периоды и целевых факторов (макроэкономических отраслевых параметров, значения которых находятся в прямой или обратной корреляции с объёмами железнодорожных перевозок);

– гипотеза о наличии и характере связи между значением целевого фактора и соответствующим ему объёмом железнодорожных перевозок по тому или иному виду перевозки и группе груза строится в рамках экспертной модели;

– субъект управления может принимать управленческие решения с учётом доступных ему инструментов в целях увеличения объёма привлекаемых на железнодорожный транспорт грузов;

– принимаемые решения могут тормозить рост прогнозных объёмов железнодорожных перевозок относительно ожидаемого, прогнозируемого по целевым факторам изменения грузовой базы;

– факторы управления прогнозными данными могут корректировать прогнозные объёмы перевозок.

Существуют факторы, которые не являются целевыми, но регулируются субъектом управления железнодорожным транспортом. При этом они корректируют прогнозное изменение объёмов перевозок. Множество

факторов создают значительное количество прогнозных комбинаций. Большинство комбинаций зачастую слабо формализуемы и для решения поставленной задачи прогнозирования находится определённый компромисс. Он заключается в отборе ограниченного и достаточно значимого набора прогнозных факторов в рамках экспертных моделей эксплуатационной работы железной дороги. Отобранные факторы проверяются на предмет корреляции их значений по временным рядам с данными об исторических объёмах железнодорожных перевозок.

Наиболее эффективным является использование предикатов для прогнозирования. Предикат – математическое высказывание, в котором есть одна переменная [9]. Предикат – это функция с множеством значений, определённая на определённом множестве. Предикаты как обычные высказывания принимают два значения – истинное и ложное, поэтому к ним применимы все операции логики высказываний. Это очень важно при прогнозировании событий, ожидаемых в транспортной деятельности.

Предиктивное моделирование на практике охватывает следующие аспекты прогнозирования:

- ключевые этапы предварительной обработки данных статистической отчётности за большой период времени;

- структуризация рассматриваемых данных и основных принципов настройки модели.

Этапы предикатного моделирования рассматривают подробный код на определенном языке прогнозирования. Оно может использоваться как реальное формирование прогноза эксплуатационной работы железной дороги. Модель предусматривает, наряду с качественным обеспечением, интуитивное объяснение конкретных методов. Главное внимание при использовании предикатного моделирования уделяется решению актуальных задач прогнозирования по реальным данным, что повышает качество прогнозов.

Процедура прогнозирования позволяет избежать сложных формул, усвоения основных статистических данных при их корреляции и линейного регрессионного анализа.

Выводы. Развитие транспортных связей и увеличение транспортных потоков активизировали создание новых методических подходов к прогнозированию эксплуатационных показателей работы железнодорожного транспорта. Использование информационных технологий на железнодорожном транспорте создало ограничения при разработке математических моделей, построенных на новых принципах.

Новый методический подход к формированию модели эксплуатационных показателей включает указанные далее положения.

1 Прогнозирование эксплуатационных показателей перевозочного процесса в целях лучшего понимания

ожидаемой ситуации сотрудниками железнодорожных администраций.

2 Расширенное использования базы информационных данных о выполнении начально-конечных операций по грузовым и пассажирским перевозкам, полученных от источника их реализации.

3 Интеграция математических моделей использования подвижного состава железной дороги за период прогнозирования в зависимости от ожидаемого финансового результата.

4 Создание модели функционирования железнодорожной инфраструктуры при наличии предикатных ограничений работы железнодорожного транспорта.

Список литературы

- 1 Забиров, Х. Ш. Эффективные методы и модели прогнозирования транспортных процессов и систем : монография / Х. Ш. Забиров, И. Н. Шапкин, Р. А. Юсипов. – М. : Финансы и статистика, 2024. – 298 с.
- 2 Журавлева, Н. А. Совершенствование методов прогнозирования показателей перевозок грузов / Н. А. Журавлева, Л. М. Чеченова, Е. М. Волкова // Транспортное дело России. – 2024. – № 6. – С. 189–193.
- 3 Герасименко, П. В. Прогнозирование средней дальности перевозки груза железнодорожным транспортом России / П. В. Герасименко // Основы экономики, управления и права. – 2023. – № 1 (36). – С. 38–42.
- 4 Кисляк, Е. Д. Особенности системы прогнозирования спроса на грузовые перевозки железнодорожным транспортом / Е. Д. Кисляк, М. А. Немчинова // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. – 2017. – Т. 1. – С. 292–294.
- 5 Оганисян, В. А. Прогнозирование спроса на контейнерные перевозки по железнодорожным транзитным коридорам шелкового пути / В. А. Оганисян, Г. Г. Налбандян, Т. В. Ховалова // Экономические науки. – 2021. – № 194. – С. 99–105.
- 6 Краковский, Ю. М. Обобщенное прогнозирование показателей грузовых перевозок железнодорожным транспортом на основе сценарного подхода / Ю. М. Краковский, Н. Н. Попова // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2020. – № 3 (79). – С. 132–138.
- 7 Митусова, А. В. Роль транспортной стратегии и макроэкономических показателей в прогнозировании грузовой базы железнодорожных перевозок / А. В. Митусова, Е. В. Дмитриева // Логистика. – 2022. – № 11–12 (192). – С. 25–27.
- 8 Никифорова, А. Н. Планирование и прогнозирование грузовых перевозок на железнодорожном транспорте / А. Н. Никифорова // Актуальные проблемы современной экономики : материалы X междунар. науч.-практ. конф. – Омск, 2022. – С. 281–289.
- 9 Предиктивное моделирование железнодорожных перевозок на среднесрочный период с прогнозированием производственных и экономических показателей / В. В. Панин, П. О. Новиков, А. А. Подорин [и др.] // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2021) : сб. тр. четырнадцатой междунар. конф. – М., 2021. – С. 1028–1036.

Получено 15.04.2025

A. A. Mikhalechenka. Methodological approach to forecasting railway performance indicators in new management conditions.

The article presents the results of studies on the organization of forecasting and planning of operational indicators in railway transport at the level of railway administration in new economic conditions. The experience of other countries in organizing operational work and methodological changes in the system of forecasting and planning the effectiveness of railway transport is taken into account. Supplements to the methodological plan and changes in the technology of forecasting and planning operational indicators of the railway when carrying goods and passengers are considered. The economic consequences of using changes in the methodological approach to forecasting operational indicators in railway transport are determined.

УДК 656

Т. Г. СЕРГЕЕВА, кандидат технических наук, О. П. КИЗЛЯК, кандидат технических наук, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ АУТСОРСИНГА ЛОГИСТИЧЕСКИХ УСЛУГ

В настоящее время аутсорсинг логистических услуг в России находит широкое применение. Актуальной становится задача по снижению транспортной составляющей в цене товара и соответственно расходов транспортных компаний. Это может быть достигнуто путем передачи на аутсорсинг логистических услуг, выполняемых транспортными компаниями самостоятельно. Рассмотрена методика принятия решения о передаче логистических функций на аутсорсинг. Представлен инструмент для выполнения такого анализа, произведена оценка эффективности применения аутсорсинга. Использование аутсорсинга позволит транспортным компаниям сократить свои расходы, сфокусировать усилия на процессах, являющихся основными для этих компаний, т. е. на тех, которые непосредственно приносят прибыль.

Введение. В Российской Федерации (РФ) логистика играет ключевую роль благодаря стратегическому транзитному положению страны на пересечении различных международных транспортных коридоров, через которые по территории страны проходят важнейшие маршруты, связывающие Россию с Европой и Азией. При этом значительная часть грузопотоков концентрируется на железнодорожном транспорте, который обеспечивает около 50 % грузооборота. Для национальной экономики актуальной задачей остаётся снижение транспортной составляющей в себестоимости продукции и повышение конкурентоспособности российских предприятий на внешних рынках. При этом одним из инструментов оптимизации выступает аутсорсинг логистических услуг, позволяющий компаниям передавать часть функций специализированным провайдерам, концентрируя усилия на основной деятельности.

Однако решение о передаче должно быть обоснованным и учитывать не только прямую экономию, но и стратегические аспекты развития транспортной системы Российской Федерации. Так, при выборе способа доставки грузов учитывается целый ряд факторов: местоположение добывающих промыслов и предприятий перерабатывающего сектора, расположение конечных потребителей, степень развития транспортной инфраструктуры, а также объемы транспортируемого продукта [1]. Помимо этого, на выбор системы доставки во многом влияют её главные достоинства и недостатки в сравнении с другими видами транспорта. Доставка и грузов может осуществляться следующими видами транспорта: автомобильным, водным, воздушным, а также железнодорожным транспортом. Выбор вида транспорта осуществляется исходя из развития транспортных путей, необходимого объема перевозок, расположения транспортно-распределительных центров, основных потребителей продукции. При выборе способа транспортировки учитываются достоинства и недостатки каждого вида перевозки [2].

Автомобилями доставляют грузы обычно в те районы страны, куда нет возможности доставить груз другими видами транспорта. Особенно эффективен автомобильный транспорт при перевозках на короткие расстояния, однако при этом возрастает риск аварийности и преобладает высокая степень загрязнения окружающей среды.

При больших объемах перевозку целесообразно выполнять железнодорожным транспортом. К основным преимуществам железнодорожных перевозок относятся их всесезонность, возможность осуществлять транспортировку на большие расстояния. Данный вид транспорта имеет также ряд недостатков – высокие расходы на перевозку по сравнению с водным транспортом. Железная дорога покрывает огромные территории страны, что позволяет осуществлять грузоперевозки на короткие, средние и дальние расстояния [3]. Если сравнивать железнодорожные перевозки с речными и морскими путями, то они являются более скоростными [4].

Воздушный способ доставки используется только в тех случаях, когда выполнить перевозку другими видами транспорта невозможно, например в районы Крайнего Севера. Такой способ доставки отличается высокой стоимостью перевозки.

Следует отметить, что при выборе вида транспортного средства преследуется основная цель: минимизировать время доставки и затраты на перевозку грузов [5].

Постановка задачи. Целью текущего исследования было выявить целесообразность передачи на аутсорсинг логистических услуг, которые ранее выполнялись этой транспортной компанией самостоятельно, а также определить экономическую эффективность передачи работ на аутсорсинг.

Основная часть. Исследование эффективности применения логистического аутсорсинга производится методом сравнительного анализа, с учетом минимизации функции затрат на транспортировку грузов путем снижения затрат при передаче рассматриваемых функций аутсорсинговым компаниям.

Прекращение выполнения работ силами транспортной компании должно обеспечивать:

- повышение экономической эффективности деятельности предприятия за счет снижения суммарных издержек;
- повышение качества выполнения производственных процессов, передаваемых на аутсорсинг;
- оптимизацию и совершенствование технологических процессов выполнения отдельных видов работ;
- высокий уровень безопасности и охраны труда, производственной санитарии.

Принятие решения об использовании стратегии аутсорсинга должно основываться на строгих коли-

чественных критериях, позволяющих дать сравнительную оценку различных альтернативных вариантов.

В качестве инструмента такого анализа предлагается использовать матрицу оценки целесообразности аутсорсинга (рисунок 1).

Уровень конкурентоспособности системы, K

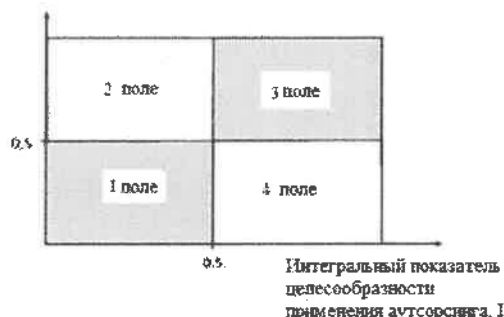


Рисунок 1 – Матрица целесообразности аутсорсинга

С помощью данной матрицы оцениваются два показателя: уровень конкурентоспособности транспортной и аутсорсинговой компании, а также интегральный показатель целесообразности аутсорсинга. K конкурентоспособности компании можно отнести: уровень конкуренции в выбранном сегменте; оснащенность предприятия со стороны персонала и техники; новые технологии, которые внедряются в производство; финансовую стабильность предприятия и др.

Матрица оценки целесообразности аутсорсинга содержит четыре поля.

Первое поле характеризует ситуацию, при которой показатели конкурентоспособности компании и работ по выполнению логистических услуг, выполняемые своими силами, хуже среднеотраслевых ($K < 0,5$, $I < 0,5$). В этом случае выбор стратегии аутсорсинга с целью повысить конкурентоспособность системы и улучшить показатели исполнения бизнес-процессов является совершенно необходимым вариантом дальнейшего развития.

Второе поле характеризует ситуацию, при которой уровень конкурентоспособности компании выше среднего уровня ($K > 0,5$), однако качество выполнения операций по выполнению логистических услуг не достигает среднего уровня, установившегося на рынке ($I < 0,5$). В таком случае необходимо сравнение двух альтернативных вариантов: аутсорсинга и инсорсинга по показателю индекса целесообразности аутсорсинга. Для дальнейшей реализации выбирается тот вариант, для которого значение индекса целесообразности больше.

Третье поле соответствует ситуации, которая характеризуется высоким текущим уровнем конкурентоспособности компании ($K > 0,5$) и значением индекса целесообразности аутсорсинга $I > 0,5$. Совершенно очевидно, что в этом случае выполнение работ по выполнению логистических услуг своими силами уже обеспечивает и высокий уровень их качества, и высокий уровень конкурентоспособности компании. Наиболее целесообразной стратегией будет стратегия инсорсинга.

Четвертое поле соответствует ситуации, при которой работы по выполнению логистических услуг

исполняются своими силами на достаточно высоком уровне качества ($I > 0,5$), однако общий уровень конкурентоспособности компании невысокий ($K < 0,5$). В этом случае, также, как и во втором, необходимо сравнение двух альтернативных вариантов: аутсорсинга и инсорсинга, но сравнение осуществляется по показателю конкурентоспособности. Вариант передачи работ по выполнению логистических функций на аутсорсинг может быть выбран в том случае, если это не приведет к уменьшению индекса целесообразности аутсорсинга и в тоже время повысит показатель конкурентоспособности в целом.

Для оценки работ по выполнению логистических услуг формируется система нормативных показателей, которая позволит определить уровень качества предоставляемых услуг и стоимость по выбранному бизнес-процессу как аутсорсером, так и самим предприятием. Принятие решения о передаче работ на аутсорсинг принимается на основе расчета интегрального уровня качества выбора аутсорсинга инсорсинга. Методика расчета интегрального уровня целесообразности основана на сравнительной оценке наиболее значимых характеристик выполнения бизнес-процессов для двух вариантов:

- выполнение работ по промывке и пропарке цистерн подразделением предприятия;
- передача работ по промывке и пропарке цистерн на аутсорсинг.

На первом этапе производится формирование набора показателей для оценки качества и стоимости исполнения работ по выполнению логистических услуг. Далее для каждого показателя качества передаваемой функции определяются по два нормативных и фактических значения:

$F_n^{\min}$ – минимально приемлемое значение показателя для удовлетворительного выполнения работ по выполнению логистических услуг;

$F_n^{\max}$ – максимальное значение показателя, соответствующее наилучшим стандартам выполнения данных работы.

F_n^{act} – фактическое значение n -го показателя качества выполнения работы.

Далее необходимо выполнить расчет фактического уровня качества выполнения логистических услуг транспортным предприятием и аутсорсером путем определения для каждого показателя соответствующего индекса:

$$I_k = \frac{F_n^{\text{act}} - F_n^{\min}}{F_n^{\max} - F_n^{\min}}, \quad (1)$$

где I_k – индекс изменения фактического значения показателя F_n по сравнению с нормативным значением;

F_n^{act} – фактическое значение n -го показателя качества выполнения рассматриваемых работ.

Использование индексных показателей, значения которых заключены в интервале $[0; 1]$ дает возможность сравнивать различные качественные характеристики работ и сформировать интегральный показатель уровня целесообразности аутсорсинга/ инсорсинга.

Интегральный показатель уровня целесообразности определяется как для аутсорсера, так и для транспортной компании. Он может принимать значения от 0 до 1. Значение показателя, более близкое к единице, соответствует наиболее приемлемому варианту выполнения данной работы.

Если выделенный ряд показателей сравнивать без учёта важности каждого из них для конкретной компании, то оценка будет неполной. Для более корректной оценки каждого параметра рассматриваемого показателя необходимо учесть степень его важности путём расчёта весового коэффициента.

Интегральный показатель уровня целесообразности аутсорсинга/инсорсинга рассчитывается для каждого из двух альтернативных вариантов выполнения функции: инсорсинга либо аутсорсинга. Тот вариант, для которого значения интегрального индекса больше, является для организации наиболее предпочтительным.

Далее необходимо сделать предварительные выводы о целесообразности передачи работ по выполнению логистических услуг на аутсорсинг, с учетом уровня конкурентоспособности компании. Окончательные выводы о целесообразности передачи работ на аутсорсинг нужно сделать с учетом определения экономического эффекта от использования аутсорсинга.

Экономический эффект от использования аутсорсинга обеспечивается, если затраты компании-оператора подвижного состава, связанные с передачей работ по выполнению логистических услуг на аутсорсинг, ниже затрат на выполнение этих видов работ своими силами.

При передаче работ на аутсорсинг должно выполняться следующее условие:

$$C_{out} + C_{hq} < C_{com} \cdot \beta, \quad (2)$$

где C_{out} – затраты транспортной компании на оплату услуг аутсорсера; C_{hq} – затраты транспортной компании по сокращению персонала, ликвидации производства и др.; C_{com} – затраты транспортной компании на выполнение работ собственными силами; β – понижающий коэффициент, характеризующий оптимизацию затрат транспортной компании в результате применения аутсорсинга.

Следует отметить, что в условиях глобализации и растущей роли транзитного потенциала Российской Федерации аутсорсинг логистических услуг становится не только инструментом сокращения издержек, но и фактором стратегического развития предприятий. Для российских компаний ключевые цели аутсорсинга можно сформулировать следующим образом:

1 *Снижение совокупных расходов на перевозку и складирование.* Особенно это актуально для экспортно-ориентированных отраслей – нефтехимической, машиностроительной, пищевой промышленности и т. п. Сокращение расходов достигается за счёт:

- оптимизации маршрутов доставки;
- сокращения простоев на границах через использование услуг операторов, имеющих соглашения с зарубежными терминалами;
- сокращения инвестиций в собственные склады и транспортный парк.

2 *Повышение эффективности использования*

инфраструктуры. Россия располагает рядом ключевых логистических хабов, таких как Нижний Бестях, Осетрово (Усть-Кут), Балаково, Омск и других, что позволяет ей стать крупным логистическим центром между Европой и Азией, используя как внутренние водные пути, так и международные транспортные коридоры. Аутсорсинг позволяет предприятиям пользоваться возможностями этих хабов без необходимости самостоятельно инвестировать в инфраструктуру, а также оптимизировать использование складских и транспортных мощностей. Следует отметить, что аутсорсинг даёт доступ к цифровым инструментам и позволяет осуществлять мониторинг грузов в реальном времени, автоматизацию складских операций и интеграцию с системами ЕАЭС и ЕС (например, NCTS в рамках транзита). Помимо этого аутсорсинг обеспечивает устойчивые связи с международными логистическими операторами, поэтому для выхода на рынки ЕС, Китая, стран Персидского залива российским компаниям важно сотрудничать с крупными международными операторами, имеющими развитую сеть филиалов и партнёров. Через аутсорсинг компании получают доступ:

- к прямым сервисам контейнерных поездов «Китай – Европа»;
- контрактам с международными экспедиторами (DB Schenker, DHL, Kuehne+Nagel и др.);
- возможностям страхования грузов на международном уровне.

При этом необходимо учесть, что улучшение качества сервиса означает сокращение сроков доставки, повышение прозрачности логистических операций и снижение числа ошибок. Это особенно важно для производителей, работающих:

- с рынками ЕС, где критичны сроки и точность поставок;
- Китаем (инициатива «Один пояс – один путь»), где востребована регулярность и предсказуемость контейнерных перевозок;
- странами ЕАЭС, где важна интеграция в единое транспортно-логистическое пространство.

Аутсорсинг позволяет снизить риски за счёт гибкости и возможности быстро перестраивать маршруты при помощи операторов, имеющих доступ к альтернативным логистическим коридорам. Оптимизация логистики через аутсорсинг напрямую повышает конкурентоспособность продукции. Уменьшение транспортной составляющей в цене позволяет российским товарам быть более привлекательными на международных рынках.

Заключение. Результатом исследований, приведенных в статье, стал анализ способов минимизации затрат транспортной компании с использованием методики оценки эффективности применения аутсорсинга. Описаны условия принятия решения об использовании этой стратегии. Разработана методика проведения оценки целесообразности передачи работ по выполнению логистических услуг на аутсорсинг. Выведен интегральный показатель уровня целесообразности аутсорсинга с учетом расчета весового коэффициента. Установлена расчетная формула эффективности применения аутсорсинга для транспортных компаний.

Российский опыт подтверждает, что аутсорсинг логистических услуг является не просто тактическим инструментом краткосрочного сокращения издержек, но и важным элементом долгосрочной стратегии устойчивого развития экономики. Сильные стороны страны – развитая железнодорожная сеть, выгодное географическое положение на стыке транспортных коридоров Восток – Запад и Север – Юг, наличие крупных мультимодальных логистических узлов – создают уникальные условия для развития аутсорсинга как института взаимодействия между национальными компаниями и международными операторами.

Однако российская практика также показывает, что передача функций внешним провайдером требует системного анализа и аккуратного баланса интересов. Недостаточно ориентироваться только на прямое снижение затрат, необходимо также учитывать:

- влияние на устойчивость транзитных цепочек, включая маршруты «Китай – Европа» в рамках инициативы «Один пояс – один путь»;
- интеграцию в международные и региональные логистические системы (ЕАЭС, ЕС, РФ, Китай);
- уровень цифровизации процессов, который становится условием доступа к современным рынкам;
- риски избыточной зависимости от внешних операторов и необходимость сохранения контроля над стратегическими функциями.

Применение методики в условиях Российской Федерации имеет ряд результатов:

- позволяет снизить транспортную составляющую в себестоимости продукции, что особенно важно для экспортоориентированных отраслей;
- способствует повышению конкурентоспособности российской продукции на рынках ЕС, ЕАЭС и Китая;
- поддерживает диверсификацию экспортных потоков и снижение зависимости от отдельных логистических маршрутов;
- стимулирует развитие современных логистических сервисов и цифровых платформ в стране.

Таким образом, аутсорсинг логистических услуг в России следует рассматривать как перспективный механизм не только для бизнеса, но и для экономики в целом. Его грамотное применение позволит укрепить роль страны как транзитного хаба Евразии, а предприятиям – повысить свою устойчивость и эффективность в условиях глобальной конкуренции.

Выводы. Стремительно меняющаяся мировая геополитическая обстановка, перенаправление логистических цепочек диктует необходимость снижения затрат транспортной компании. Это становится возможным в том числе при использовании аутсорсинга логистических функций. Разработанная методика поиска интегрального показателя аутсорсинга позволит оценить качество выполнения услуг, уровень конкурентоспособности компании и снизить затраты предприятия. Таким образом может быть достигнута минимизация функции затрат предприятия.

Список литературы

- 1 **Сергеева, Т. Г.** Роль логистических провайдеров в новых логистических цепях / Т. Г. Сергеева // Актуальные вопросы инженерного предпринимательства в условиях Индустрии 4.0 : сб. трудов студенческой науч.-практ. конф. с междунар. участием, Санкт-Петербург, 17 мая 2023 г. / под ред. М. А. Дроздовой, О. Д. Покровской. – М. : РИОР, 2023. – С. 453–461.
- 2 **Сергеева, Т. Г.** Повышение эффективности деятельности логистических провайдеров / Т. Г. Сергеева, Г. И. Никифорова // Техник транспорта: образование и практика. – 2023. – Т. 4, № 1. – С. 37–42. – DOI: 10.46684/2687-1033.2023.1.37-42.
- 3 **Кизляк, О. П.** Имитационное моделирование грузовых потоков при мультимодальных перевозках / О. П. Кизляк, Т. Г. Сергеева // IV Бетанкуровский международный инженерный форум : электрон. сб. трудов, Санкт-Петербург, 30 ноября – 2 декабря 2022 г. / отв. за вып. : О. В. Гимазетдинова, М. С. Панова. – СПб. : Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2022. – С. 177–179.
- 4 **Кизляк, О. П.** К вопросу обоснованного выбора международного транспортного коридора в современных условиях / О. П. Кизляк, Г. И. Никифорова, Т. Г. Сергеева // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 160-летию Белорусской железной дороги, Гомель, 24–25 ноября 2022 г. В 2 ч. Ч. 2. – Гомель : БелГУТ, 2022. – С. 121–125.
- 5 **Никифорова, Г. И.** Оценка возможностей транспортно-экспедиторской компании при проектировании цепи доставки груза / Г. И. Никифорова, Т. Г. Сергеева // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2022. – Т. 19, № 2. – С. 298–304. – DOI: 10.20295/1815-588X-2022-19-2-298-304.

Получено 02.05.2025

T. G. Sergeeva, O. P. Kizlyak. Methodology for assessing the effectiveness of outsourcing logistics services.

Currently, outsourcing of logistics services in Russia is widely used. The task of reducing the transport component in the price of goods and, accordingly, the costs of transport companies is becoming relevant. This can be achieved by outsourcing logistics services performed by transport companies themselves. The methodology for making a decision on outsourcing logistics functions is considered. A tool for performing such an analysis is presented, and the effectiveness of outsourcing is assessed. The use of outsourcing will allow transport companies to reduce their costs and focus their efforts on the processes that are essential for these companies, i.e. those that directly generate profit.

УДК 62.002

В. Л. МОИСЕЕНКО, кандидат технических наук, Е. В. СЛАВНИКОВ, Н. С. МАТУЗКО, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Представлен обзор научно-технической литературы, посвящённый проблемным вопросам в области машиностроения. Анализ научно-технической литературы показал, что в последние годы наблюдается растущий интерес к продукции отечественного машиностроения, санкционное давление стран «коллективного запада» открывает новые горизонты для его развития в различных отраслях. Представлены общие сведения о проблемных вопросах, а также наиболее перспективных методах их решения. Систематизированы данные в области создания высококачественного оборудования на основе продукции отечественного машиностроения, соответствующие не только современным требованиям устойчивого развития, но и современным стандартам. Представленная информация позволяет оценить многообразие современных методов производства, а также управленческих методов по модернизации производства.

На сегодняшний день главной задачей для специалистов промышленности и экономики является реконструкция и развитие таких направлений, как станкостроение, приборостроение, электротехника и электроника.

Отечественному машиностроению свойственны несколько типов проблем:

1 Низкий уровень развития машиностроительного комплекса. Это связано со спадом производства ведущих отраслей, простоем многих предприятий и с износом различных станков.

2 Низкое качество производимого товара. Большинство производимого оборудования выходит из строя в первый год эксплуатации.

3 Устаревшая система распределения ресурсов.

4 Отсутствие систематизированных знаний в производстве и совершенствовании производимой продукции.

Причины застоя в отечественном машиностроении

Одной из основных проблем в машиностроении стран постсоветского пространства является устаревшее оборудование и технологии [1].

Многие предприятия работают на устаревших производственных линиях, что снижает эффективность производства и качество выпускаемой продукции.

Причиной сложившейся ситуации явилось ложное понимание происходящих процессов в сфере рыночной экономики после развала СССР, выразившееся в получении моментальных доходов от продажи конечного продукта.

Через призму времени кажутся естественными необходимость инвестировать в модернизацию производственных мощностей и внедрение современных технологий для получения прибыли при выполнении окончанных циклов производства, но система промышленности СССР, управляемая единым органом управления в «огромной стране», после её развала рухнула, и вследствие этого – управление промышленностью в целом. Заводам, цехам, которые поставляли компоненты для конечного продукта промышленных предприятий, пришлось мгновенно остановиться или продолжить производить на склад уже никому не нужную продукцию.

В сложившихся условиях отсутствия единого центра не только в промышленности, но и у производителей конечного продукта (предприятий, заводов) начался активный поиск применения отделившихся компонентов системы, которые были брошены на произвол судьбы, а некоторые из них ещё и оказались за границей вновь возникнувших государств.

«Хищники» западного мира приступили к так называемому «обучению» неопытных руководств государственных предприятий законам мирового рынка. В ходе проводимых мероприятий они взяли все лучшее на то время в промышленности СССР и, поманив моментальной сверхприбылью, начали свою игру на «выживание». Грамотным планированием на десятилетия они уничтожили конкурентноспособные предприятия и некоторые отрасли производства.

Разобщенность и опьянение так называемой свободой рынка, естественное желание обогащения, подкрепленное поддержкой «хищников, орущих из каждого утюга» о свободе рынка, приводит к работе предприятий на износ, что и стало первопричиной износа оборудования до критических значений.

Еще одной проблемой является недостаток квалифицированных кадров. Система подготовки специалистов в машиностроении требует совершенствования, и не всегда выпускники вузов обладают актуальными знаниями и навыками. Также стало актуальным вопросом удержание опытных кадров и привлечение молодых специалистов в отрасль [2].

Стремление подготовить специалистов «современного» производства на высокотехнологичном «западном оборудовании» практически прекратило подготовку специалистов к работе на отечественном оборудовании. Как пример можно привести подготовку специалистов механической обработки металлов (токари, фрезеровщики, слесари-станочники), которые по своей сути в настоящее время являются обслуживающим персоналом оборудования с числовым программным управлением. Работа данных специалистов заключается лишь в креплении заготовки и «надзоре за инструментами работа». Многие назовут это прогрессом, но изобретение, конструирование сопряжено с штучным изготовлением частей и механизмов при проведении различного рода опытов, а также при совершенствовании

оборудования и техпроцессов. Создание руками мастера той или иной детали еще в процессе производства рождает процессы по её совершенствованию.

Подготовка специалистов по «западным» стандартам создала предпосылки для оттока специалистов за рубеж. Специалисты, которые подготовлены к работе на оборудовании, не производимом в стране, зачастую становятся заложниками поставок оборудования, следовательно подготовка специалистов в течение нескольких лет взаимосвязана с импортом этого оборудования.

Созданная система подготовки специалистов «оторвана» от производства настолько, что зачастую знания, полученные в учреждениях образования, не имеют практического применения. Распределение кадров не имеет жесткой взаимосвязи с предприятиями в связи с оттоком специалистов и не поддается прогнозу, а как следствие имеет место постоянная нехватка квалифицированных кадров.

Подготовка специалистов в области управления вообще не поддается никакому анализу. Доля административного и менеджерского персонала на отдельных производствах постсоветского пространства, в частности в РФ, превышает 30–40 %, а в некоторых фирмах число управленцев несоизмеримо и даже превышает число квалифицированных рабочих.

Для сравнения приведем судостроительную промышленность Бразилии, которая пока не относится к числу передовых стран, но активно работает над этим. В настоящее время на 47 верфях Бразилии трудятся менее 60 тыс. человек. Для них характерна следующая разбивка персонала по категориям: 10 % – инженеры; 10 – техники; 70 – квалифицированные рабочие; 5 – администрация; 5 % – прочие сотрудники. Таким образом, основную долю в судостроении Бразилии составляют квалифицированные рабочие, при этом на административный и менеджерский персонал приходится только 5 % работников. В Южной Корее, Японии, Китае на долю административного и менеджерского персонала приходится не более 3–5 % от числа работников верфей.

В России расходы на управление (в основном заработная плата соответствующего персонала), как правило, в три раза больше заработной платы основных рабочих. В развитых странах расходы на управление составляют не более 80–85 % от заработной платы рабочих.

Заложенное дальновидное планирование «западными партнерами» позволяет им и дальше оказывать влияние на промышленность стран постсоветского пространства.

Санкции и ограничения на импорт оборудования и комплектующих являются в созданной системе рычагом давления на промышленность.

Зависимость от импорта технологических решений и компонентов приводит к риску прерывания поставок и повышению издержек на производстве.

Сложности с доступом к финансированию и высокие процентные ставки ограничивают возможности компаний в машиностроении для инвестиций и развития. Необходима поддержка со стороны государства и банковской системы для обеспечения доступности кредитов и инвестиций.

Отсутствие стратегически осмысленной и научно обоснованной промышленной политики повлекло систематическое давление на отечественную промышленность и привело к распространению контрафактной продукции [3].

Контрафакт – это подделка или использование чужих фирменных марок, брендов на некачественных товарах с целью получения незаслуженной прибыли.

Контрафактными в последнее время становятся также материалы и полуфабрикаты, из которых производятся те или иные детали. Например, доля таких материалов в отдельных отраслях промышленности достигает 55–65 %. Проблема носит международный характер. Но, учитывая последствия для безопасности и обороны стран постсоветского пространства, особую тревогу вызывает увеличение объема подделок в военной и аэрокосмической отраслях нашей страны.

Приведем несколько примеров распространения этой губительной болезни. С 2001 года специалистами ФГУП ГосНИИ ГА проверено более 3000 воздушных судов, более 62000 их основных компонентов. При этом было выявлено и отстранено от эксплуатации 5025 неаутентичных, оказывающих влияние на безопасность полетов, таких как важные элементы двигателей, лопасти несущего винта, автоматы перекося, лопасти хвостовых винтов, агрегаты гидравлических систем, взлетно-посадочные устройства, навигационное оборудование и т. д.

В целом, по данным Росавиации, доля контрафактных деталей на рынке СНГ комплектующих авиационной техники превышает 15 %. В 2010 году Министерство транспорта РФ сообщало: из проверенных на подлинность более 60 тыс. авиационных запасных частей выявлено около 10,5 тыс. изделий-копий, более 3 тыс. запасных частей, по которым нельзя определить предельный срок их эксплуатации, и почти 2 тыс. деталей, выпуск которых не подтвержден соответствующими документами предприятий-изготовителей.

По экспертным оценкам, доля контрафактной продукции на внутреннем российском рынке только в высокотехнологичных образцах, включая и космическую отрасль, составляет порядка 15–17 %, по ряду изделий этот показатель достигает 20–25 % и более, а ежегодный ущерб экономике страны оценивается в несколько миллиардов долларов.

Устойчивому обороту контрафактной продукции в различных отраслях, в том числе и в России и странах постсоветского пространства способствует целенаправленное создание дефицита оригинальных комплектующих и запасных частей, искусственное завышение цен на продукцию официальных производителей и неурегулированность нормативно-правовых вопросов противодействия производству и распространению контрафакта.

Для успешной деятельности машиностроительных производств необходимо предусматривать не менее 60 % локализованных компонентов по их количеству в конечных изделиях. Например, применительно к судостроению, Бразильское правительство определило степень локализации своих производств по числу комплектующих элементов – до 80 %. Уровень обеспеченности произведенным в стране судовым оборудованием составлял на 2006 год в Китае 35–40 %, в Юж-

ной Кореи – 85, в Японии – 95, в Германии – более 95 %. В РФ эта доля не превышает 12–15 % [4].

В целом в настоящее время конкурентоспособная продукция отечественных машиностроительных и особенно приборостроительных предприятий способна удовлетворять потребности промышленности по номенклатуре не более чем на 15–20 % при использовании импортной элементной базы и не более чем на 3–5 % при реализации собственного производства полного цикла. Такое положение крайне опасно. Это тупик в развитии отечественной промышленности и очевидное свидетельство ее деградации.

Подход к созданию производств на Западе принципиально отличается от внедряемого у нас. Развитые европейские страны все больше концентрируются на наукоемких сферах, требующих высококвалифицированного труда и приносящих больше доходов. Мало-доходные и трудоемкие операции, при выполнении которых используется по большей части низкоквалифицированная рабочая сила, перемещаются в страны Юго-Восточной Азии, а в последнее время и в РФ.

Вот почему в настоящее время, например, европейское судостроение сосредоточено, в основном, на выпуске высокотехнологичной и узкоспециализированной продукции, в частности, на строительстве пассажирских судов, крупных лайнеров и яхт, а также боевых кораблей. Кроме того, для наукоемких европейских и американских производств характерна высокая степень диверсификации.

Тем не менее, у машиностроения есть перспективы развития. Отрасль имеет определенный потенциал для роста, особенно в областях, связанных с высокими технологиями, такими как автоматизация, робототехника и цифровые технологии. Также внутренний ры-

нок России и стран постсоветского пространства предоставляет возможности для расширения производства и удовлетворения потребностей национальной инфраструктуры.

Для достижения успешного развития машиностроения необходима системная работа, включающая в себя модернизацию производства, образовательных программ и кадровой политики, поддержку инноваций и разработку мер по снижению зависимости от импорта. С учетом правильных стратегических шагов и содействия со стороны государства машиностроение может обрести новые возможности и оставаться ключевой отраслью экономики.

Список литературы

- 1 Сиваченко, Л. А. Технологическое машиностроение – инновационный резерв мировой экономики: монография / Л. А. Сиваченко, Т. Л. Сиваченко. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2017. – 254 с.
- 2 Кукарцева, Д. А. Машиностроение в России: текущее состояние и ключевые проблемы / Д. А. Кукарцева, И. И. Ивакина // Экономика и управления в современных условиях : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Красноярск, 18–20 окт. 2023. / сост.: Л. М. Ашихмина. – Красноярск : Сибир. ин-т бизнеса, управления и психологии, 2023. – С. 85–90 с.
- 3 Мельковская, К. Р. Основные проблемы машиностроительного комплекса России / К. Р. Мельковская // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. – 2012. – № 1. – URL: <http://www.uecs.ru> (дата обращения: 01.05.2025).
- 4 Бельшовский, Р. Бразильская экономическая мысль: идеологический цикл развития / Р. Бельшовский. – Рио-де-Жанейро, 2004.

Получено 14.05.2025

V. L. Moiseenko, E. V. Slavnikov, N. S. Matuzko. Problematic issues of the development of domestic engineering.

The review of scientific and technical literature devoted to problematic issues in the field of mechanical engineering is presented. An analysis of scientific and technical literature has shown that in recent years there has been a growing interest in domestic engineering products, and the sanctions pressure from the countries of the "collective West" opens up new horizons for its development in various industries. The article provides general information about problematic issues, as well as the most promising methods for solving them. The paper systematizes data in the field of creating high-quality equipment based on domestic engineering products that meet not only modern requirements for sustainable development, but also modern standards. The presented information allows us to evaluate the variety of modern production methods, as well as management methods for modernizing production.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО КРИТЕРИЯ ОПТИМАЛЬНОСТИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПЛАНА ФОРМИРОВАНИЯ ОДНОГРУППНЫХ ПОЕЗДОВ

Обосновано применение в процессе разработки и оптимизации плана формирования одногруппных грузовых поездов синергетического критерия оптимальности, учитывающего расходы, связанные с продвижением подвижного состава по железнодорожным участкам. Выполнена оценка влияния использования синергетического критерия оптимальности в процессе разработки плана формирования поездов на транзитность вагонопотока и среднее время проследования грузовым вагоном железнодорожного направления.

Одним из важнейших вопросов развития теории разработки плана формирования поездов является вопрос определения критерия его оптимальности.

Условие оптимальности плана формирования грузовых поездов, предусмотренное действующими на Белорусской железной дороге Методическими рекомендациями по организации вагонопотоков [1], можно определить как минимизацию затрат приведенных вагоно-часов, связанных с накоплением и переработкой вагонов на технических станциях.

При этом целевая функция включает в себя следующие составляющие:

$$B_{\text{общ}} + B_{\text{нак}} + B_{\text{пер}}^{\text{ваг}} + B_{\text{пер}}^{\text{лок}}, \quad (1)$$

где $B_{\text{нак}}$ – затраты вагоно-часов, связанные с накоплением составов на технических станциях; $B_{\text{пер}}^{\text{ваг}}$ – затраты вагоно-часов, связанные с переработкой попутных вагонов на технических станциях; $B_{\text{пер}}^{\text{лок}}$ – затраты приведенных вагоно-часов, связанные с перецепкой локомотивов.

Анализ формулы (1) показывает, что приведенная целевая функция не учитывает затраты, связанные с нахождением вагонопотоков в движении. Это связано с тем, что, согласно существующим подходам, в случаях, когда вагонопотоки следуют по одним и тем же участкам в поездах с одинаковой величиной составов, затраты на их продвижение по участкам одинаковы и могут не учитываться.

Исследования, приведенные в публикации [4], показали, что даже в рамках одного железнодорожного участка средняя участковая скорость сквозных поездов может существенно превышать среднюю участковую скорость участковых поездов, что свидетельствует о необходимости доработки действующего критерия оптимальности согласно дополнительным параметрам, учитывающим взаимодействие железнодорожных станций и участков.

Целевая функция дополненного синергетического критерия оптимальности плана формирования поездов будет иметь следующий вид:

$$B_{\text{общ}}^{\text{син}} + B_{\text{общ}} + B_{\text{уч}}^{\text{ваг}} + B_{\text{уч}}^{\text{лок}} + B_{\text{косв}}, \quad (2)$$

$B_{\text{уч}}^{\text{ваг}}$ – затраты вагоно-часов, связанные с нахождением вагонов на участках; $B_{\text{уч}}^{\text{лок}}$ – затраты приведенных ва-

гоно-часов, связанные с нахождением локомотивов на участках; $B_{\text{косв}}$ – косвенные затраты, выраженные в приведенных вагоно-часах.

Для того, чтобы при выборе между различными вариантами плана формирования поездов учитывать затраты, связанные с нахождением вагонов и локомотивов на участках, в целях упрощения расчетов целесообразно использовать не сами затраты ($B_{\text{уч}}^{\text{ваг}}$ и $B_{\text{уч}}^{\text{лок}}$), а дополнительный параметр экономии эксплуатационных расходов при следовании вагонов и локомотивов в сквозных поездах (R_n). В работе [2] описан порядок расчета данного параметра для частного случая, когда все грузовые поезда следуют по направлению с одним локомотивом.

В более общем случае параметр экономии эксплуатационных расходов при следовании подвижного состава в сквозных поездах R_n в приведенных вагоно-часах может быть рассчитан с использованием формулы

$$R_n = \Delta t_{\text{скв}} \left(\frac{k_{\text{лок}} M_{\text{лок}}}{m} + 1 \right) n, \quad (3)$$

где $\Delta t_{\text{скв}}$ – сокращение продолжительности нахождения подвижного состава на участке при следовании вагонов и локомотивов в составе сквозных поездов в сравнении со следованием в участковых поездах, ч; $k_{\text{лок}}$ – коэффициент приведения локомотиво-часов к ваг-ч; $M_{\text{лок}}$ – среднее число локомотивов в следующем по участку грузовом поезде, ед.; m – средний состав следующего по участку поезда, ваг.; n – мощность струи вагонопотока, ваг.

В ходе апробации использования данного параметра на полигоне Белорусской железной дороги была обоснована целесообразность выделения некоторых маломощных струй вагонопотоков в самостоятельные назначения.

Для оценки эффекта от использования предлагаемого параметра в процессе разработки плана формирования грузовых поездов проанализируем то, как изменялась транзитность вагонопотока на отдельных направлениях после того, как дополнительные струи вагонопотоков были выделены в самостоятельные назначения. Под транзитностью вагонопотока будем понимать долю следующих по направлению вагонов, которые проследуют попутные технические станции без переработки.

В качестве примера рассмотрим однопутное направление Могилев – Слуцк, включающее участки Могилев – Осиповичи и Осиповичи – Слуцк. Среднесуточные размеры следующего по данным участкам вагонопотока (без учета вывозных и передаточных поездов) $n_{\text{общ}}$ составляют 379,7 ваг. и 546,9 ваг. соответственно.

С использованием параметра R_n в ходе разработки плана формирования грузовых поездов было обосновано формирование на указанном направлении сквозного поезда Могилев – Слуцк, тогда как ранее соответствующий вагонопоток следовал в участковых поездах Могилев – Осиповичи и Осиповичи – Слуцк.

Если без учета формирования сквозного поезда Могилев – Слуцк среднесуточный транзитный вагонопоток $n_{\text{тр}}$, который проследовал технические станции без переработки, на участках Могилев – Осиповичи и Осиповичи – Слуцк составлял 243,2 ваг. и 416,7 ваг. соответственно, то после того, как план формирования был доработан с использованием параметра R_n , значение указанного показателя на участках увеличилось до 328,3 ваг. и 501,8 ваг. соответственно.

Таким образом, транзитность вагонопотока $W_{\text{тр}}^{\text{ваг}}$ на участке Могилев – Слуцк возросла от 64,1 до 86,5 %, на участке Осиповичи – Слуцк – от 76,2 до 91,8 %.

Увеличение средней транзитности вагонопотока на направлении Могилев – Слуцк $\Delta W_{\text{тр}}^{\text{ваг}}$ составило 18,4 процентного пункта.

Краткая характеристика направления Могилев – Слуцк приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика направления Могилев – Слуцк

Показатель		Участок	
		Могилев – Осиповичи	Осиповичи – Слуцк
$n_{\text{общ}}$, ваг.		379,7	546,9
$n_{\text{тр}}$, ваг.	без использования R_n	243,2	416,7
	с использованием R_n	328,3	501,8
$W_{\text{тр}}^{\text{ваг}}$, %	без использования R_n	64,1	76,2
	с использованием R_n	86,5	91,8
$\Delta W_{\text{тр}}^{\text{ваг}}$, п. п.	на отдельном участке	22,4	15,6
	на направлении	18,4	

В таблицах 2–5 приведены аналогичные характеристики для однопутных направлений Лида – Лунинец и Гомель – Лунинец, а также для двухпутных направлений Минск – Брест и Минск – Жлобин.

Таблица 2 – Характеристика направления Лида – Лунинец

Показатель		Участок	
		Лида – Барановичи	Барановичи – Лунинец
$n_{\text{общ}}$, ваг.		200,4	273,0
$n_{\text{тр}}$, ваг.	без использования R_n	125,3	168,3
	с использованием R_n	159,0	202,0
$W_{\text{тр}}^{\text{ваг}}$, %	без использования R_n	62,5	61,6
	с использованием R_n	79,3	74,0
$\Delta W_{\text{тр}}^{\text{ваг}}$, п. п.	на отдельном участке	16,8	12,4
	на направлении	14,2	

Таблица 3 – Характеристика направления Гомель – Лунинец

Показатель		Участок	
		Гомель – Калинковичи	Калинковичи – Лунинец
$n_{\text{общ}}$, ваг.		207,6	293,2
$n_{\text{тр}}$, ваг.	без использования R_n	61,0	64,6
	с использованием R_n	100,6	104,2
$W_{\text{тр}}^{\text{ваг}}$, %	без использования R_n	29,4	22,0
	с использованием R_n	48,5	35,5
$\Delta W_{\text{тр}}^{\text{ваг}}$, п. п.	на отдельном участке	19,1	13,5
	на направлении	15,8	

Таблица 4 – Характеристика направления Минск – Брест

Показатель		Участок	
		Минск – Барановичи	Барановичи – Брест
$n_{\text{общ}}$, ваг.		589,8	467,7
$n_{\text{тр}}$, ваг.	без использования R_n	250,1	245,2
	с использованием R_n	337,4	332,5
$W_{\text{тр}}^{\text{ваг}}$, %	без использования R_n	42,4	52,4
	с использованием R_n	57,2	71,1
$\Delta W_{\text{тр}}^{\text{ваг}}$, п. п.	на отдельном участке	14,8	18,7
	на направлении	16,5	

Таблица 5 – Характеристика направления Минск – Жлобин

Показатель		Участок	
		Минск – Осиповичи	Осиповичи – Жлобин
$n_{\text{общ}}$, ваг.		278,6	232,1
$n_{\text{тр}}$, ваг.	без использования R_n	136,1	123,3
	с использованием R_n	177,6	165,2
$W_{\text{тр}}^{\text{ваг}}$, %	без использования R_n	48,7	53,7
	с использованием R_n	63,8	71,1
$\Delta W_{\text{тр}}^{\text{ваг}}$, п. п.	на отдельном участке	15,1	17,4
	на направлении	16,2	

Данные, приведенные в таблицах 1–5, свидетельствуют о том, что использование в разработке плана формирования синергетического критерия оптимальности с учетом параметра R_n позволяет повысить транзитность вагонопотока на направлении в среднем на 14–18 %.

В таблицах 6 и 7 приведены сведения о соотношении между средними участковыми скоростями сквозных поездов ($v_{\text{уч}}^{\text{скв}}$) и участковых поездов ($v_{\text{уч}}^{\text{уч}}$) на рассмотренных выше направлениях, среднем времени проследования направления вагоном в составе участкового поезда ($t_{\text{уч}}^{\text{ваг}}$) и сквозного поезда ($t_{\text{скв}}^{\text{ваг}}$), а также среднем времени проследования грузовым вагоном указанных направлений $t_{\text{ср}}^{\text{ваг}}$ до и после использования в процессе разработки плана формирования поездов синергетического критерия оптимальности с учетом параметра R_n .

Таблица 6 – Оценка эффекта от применения синергетического критерия оптимальности на однопутных направлениях

Показатель	Направление		
	Могилев – Слуцк	Лида – Лунинец	Гомель – Лунинец
$v_{\text{уч}}^{\text{скв}}$, км/ч	48,6	48,3	43,7
$v_{\text{уч}}^{\text{уч}}$, км/ч	47,2	44,4	42,8

Окончание таблицы 6

Показатель	Направление		
	Могилев – Слуцк	Лидя – Лунинец	Гомель – Лунинец
$\Delta v_{уч}, \%$	3,0	8,8	2,1
$t_{скв}^{ваг}, ч$	9,01	8,95	14,85
$t_{уч}^{ваг}, ч$	24,43	24,98	24,36
$t_{ср}^{ваг}, ч$	без применения R_n	13,45	15,04
	с применением R_n	10,62	12,76
$\Delta t_{ср}^{ваг}, \%$	21,1	15,2	6,8

Таблица 7 – Оценка эффекта от применения синергетического критерия оптимальности на двухпутных направлениях

Показатель	Направление	
	Минск – Жлобин	Минск – Брест
$v_{уч}^{скв}, км/ч$	51,8	57,7
$v_{уч}^{уч}, км/ч$	49,9	55,3
$\Delta v_{уч}, \%$	3,8	4,3
$t_{скв}^{ваг}, ч$	8,45	9,64
$t_{уч}^{ваг}, ч$	23,88	26,02
$t_{ср}^{ваг}, ч$	без применения R_n	20,04
	с применением R_n	16,52
$\Delta t_{ср}^{ваг}, \%$	17,6	14,7

Данные, приведенные в таблицах 6 и 7, свидетельствуют о том, что использование при разработке плана формирования поездов синергетического критерия оп-

тимальности позволяет увеличить транзитность вагонопотока и сократить среднее время проследования вагоном направления на 6–21 %.

Увеличение транзитности вагонопотока, следующего по направлению, позволяет:

- ускорить продвижение вагонопотока как за счет сокращения простоев на технических станциях, так и за счет снижения времени его нахождения на участках;
- повысить сохранность подвижного состава за счет сокращения объема переработки вагонов на сортировочных горках;
- увеличить резерв перерабатывающей способности технических станций за счет снижения загрузки транспортной инфраструктуры.

Список литературы

- 1 Методические рекомендации по организации вагонопотоков на Белорусской железной дороге : утв. приказом № 1294НЗ от 30.12.2013. – Минск : Бел. ж.д., 2013. – 320 с.
- 2 Негрей, В. Я. Особенности расчета плана формирования одногруппных поездов в рыночных условиях / В. Я. Негрей, К. М. Шкурин // Вестник ВНИИЖТ. – 2018. – Т. 77, № 3. – С. 133–140.
- 3 Шкурин, К. М. Оценка эффективности взаимодействия железнодорожных станций и участков при разработке плана формирования одногруппных поездов / К. М. Шкурин // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XIII междунар. науч.-практ. конф., 21–22 нояб. 2024 г., Гомель Белорус. гос. ун-т трансп.; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. В 2 ч. Ч. 1, – Гомель, 2024. – С. 69–71.
- 4 Шкурин, К. М. Системный подход к оптимизации плана формирования поездов / К. М. Шкурин // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2017. – № 1 (34). – С. 61–64.

Получено 04.04.2025

K. M. Shkurin. The use of synergetic criterion of optimality in the development of single-group freight train formation plan.

The author substantiates the application of synergetic criterion of optimality in the process of developing and optimizing of single-group freight train formation plan, which allows to consider the costs of movement of rolling stock through railway sections. The impact of the use of synergetic criterion of optimality for train formation plan on car flow transitivity and on average time it takes for freight car to pass through the railway direction is assessed.

УДК 656.212.6.073.4

С. Н. ТИМАШКОВ, магистр технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПРОПУСКНОЙ И ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ГРУЗОВЫХ ПУНКТОВ ДЛЯ ВОИНСКИХ ГРУЗОВ

Исследуются различные способы расчета параметров, определяющих пропускную и перерабатывающую способность пунктов погрузки-выгрузки воинских грузов, изучаются особенности технологии подготовки и проведения грузовых работ с колесной, гусеничной и другой техникой, определяющей продолжительность выполнения отдельных вспомогательных, основных и заключительных операций.

Проведенные исследования автора [1, 2] показали, что формулу для расчета пропускной способности грузовых пунктов, обеспечивающих погрузку-выгрузку воинских грузов, согласно [3, с.147], можно представить следующим образом:

$$E_m = \frac{1440K}{n_{\text{под}}(t_{\text{под}} + t_{\text{уб(отпр)}} + t_{\text{подг}} + t_{\text{погр(выгр)}} + t_{\text{прим}})}, \quad (1)$$

где 1440 – суточный бюджет времени, мин; K – коэффициент неполного использования погрузочно-выгрузочного места из-за различия норм на погрузку-выгрузку и неравномерность прибытия-отправления поездов; $n_{\text{под}}$ – число подач в составе одного поезда; $t_{\text{под}}$ – время подачи состава на путь погрузки (выгрузки), включающее время движения группы вагонов с локомотивом со станционного пути на пункт погрузки (выгрузки), расстановку вагонов, закрепление вагонов тормозными башмаками и отцепку маневрового локомотива, мин; $t_{\text{уб(отпр)}}$ – время уборки (время до отправления) состава после погрузки, включающее прицепку маневрового локомотива, уборку тормозных башмаков, сборку вагонов (при необходимости), движение группы вагонов на станцию, мин; $t_{\text{подг}}$ – время, необходимое на проведение инструктажа погрузочно-выгрузочной команды воинской части (учитывается только для первой подачи воинского эшелона или транспорта), осмотр подвижного состава представителем отправителя (учитывается при погрузке), открытие бортов и дверей вагонов, очистка вагонов от остатков ранее перевозимого груза, снега (не учитывается при выгрузке), укладка переходных мостков, мин; $t_{\text{погр(выгр)}}$ – норма времени на размещение и крепление вооружения, военной и специальной техники (далее – ВВСТ) воинского эшелона на железнодорожном подвижном составе (раскрепление и уборку с подвижного состава вооружения, военной и специальной техники), включая заключительные операции (уборка переходных мостков, закрытие бортов, инструктаж перед отправлением), мин; $t_{\text{прим}}$ – время, необходимое на проведение проверки правильности размещения и крепления ВВСТ специалистами железнодорожного транспорта совместно с представителями органов военных сообщений и отправителя, которое учитывается только при погрузке, мин.

Элемент операции $t_{\text{уб(отпр)}}$ зависит от погрузки-выгрузки воинских грузов, которая, как правило, осуществляется на промежуточных железнодорожных

станциях. Это часто приводит к тому, что грузовые операции выполняются на погрузочно-выгрузочных устройствах, непосредственно примыкающих к приемо-отправочному пути, с которого впоследствии отправляется воинский эшелон или воинский транспорт. В этом случае уборка груженого воинского эшелона (воинского транспорта) маневровыми средствами на путь отправления производиться не будет, а следовательно, $t_{\text{уб(отпр)}}$ будет определяться по времени технологических операций отправления поезда со станции и рассчитываться по следующей формуле:

$$t_{\text{уб(отпр)}} = t_{\text{приц}} + t_{\text{уб. баш}} + t_{\text{сб}} + t_{\text{отпр. тор}} + t_{\text{откр. сиг}} + t_{\text{просл. горл}} \quad (2)$$

где $t_{\text{приц}}$ – прицепка поездного локомотива к составу воинского эшелона (воинского транспорта), мин; $t_{\text{уб. баш}}$ – уборка тормозных башмаков, мин; $t_{\text{сб}}$ – сборка подвижного состава воинского эшелона (воинского транспорта) по фронту погрузки (при необходимости), мин; $t_{\text{отпр. тор}}$ – опробование автоматических тормозов поездной бригадой, мин; $t_{\text{откр. сиг}}$ – задание маршрута и открытие сигнала, мин; $t_{\text{просл. горл}}$ – проследование составом поезда горловины станции, мин.

В случае уборки груженого воинского эшелона (воинского транспорта) для отправления на другие пути станции маневровыми средствами в формуле 2 вместо $t_{\text{просл. горл}}$ будут суммироваться технологические времена маневровых полурейсов по станционным путям.

Время, необходимое на проведение проверки правильности размещения и крепления ВВСТ специалистами железнодорожного транспорта совместно с представителями органов военных сообщений и отправителя,

$$t_{\text{прим}} = (m_{\text{эш}} - m_{\text{эш}}^{\text{нр}}) t_{\text{ваг}}^{\text{прим}} + m_{\text{эш}}^{\text{нр}} t_{\text{ваг}}^{\text{прим}} d, \quad (3)$$

где $m_{\text{эш}}$ – количество вагонов в воинском эшелоне (воинском транспорте); $m_{\text{эш}}^{\text{нр}}$ – количество вагонов в воинском эшелоне (воинском транспорте), на которых размещается ВВСТ негабаритная, длинномерная, а также имеющая поворотные части; $t_{\text{ваг}}^{\text{прим}}$ – время проверки правильности размещения и крепления ВВСТ специалистами железнодорожного транспорта совместно с представителями органов военных сообщений и отправителя на (в) одном вагоне, принимается 2 мин; d – коэффициент, учитывающий увеличение времени на проведение проверки правильности размещения и

крепления ВВСТ при наличии негабаритных и длинномерных единиц, а также наличие у них поворотных частей, узлов и агрегатов (принимается равным 1,2 согласно действующим рекомендациям).

Время ожидания уборки подвижного состава $t_{ож}$ после погрузки с погрузочно-выгрузочного места на станционные пути согласно [4]

$$t_{ож} = \frac{\rho^2}{\lambda(1-\rho)}, \quad (4)$$

где ρ – загрузка транспортной системы,

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}, \quad (5)$$

λ – интенсивность входящего потока,

$$\lambda = \frac{n_{под}}{24}, \quad (6)$$

μ – интенсивность потока обслуживания,

$$\mu = \frac{n_{гр}}{24}, \quad (7)$$

$n_{гр}$ – общее количество групп, с которыми производится работа на грузовых пунктах погрузки-выгрузки воинского эшелона или транспорта.

Неполное использование погрузочно-выгрузочного места в течение расчетного периода связывается с некоторым временем суток ($T_{пост}$) для выполнения технологических операций погрузки-выгрузки воинского эшелона и транспорта в связи с перерывами на прием пищи личным составом, сдачей и приемом смены работниками железнодорожного транспорта (машинистами локомотивов, составительскими бригадами, приемосдатчиками груза и багажа), запрещением погрузки или выгрузки в светлое время суток и др. Поэтому в методику расчета включается параметр, уменьшающий общую продолжительность суточного бюджета времени для проведения технологических операций из-за влияния различных факторов,

$$T_{пост} = \sum T_{пищи} + t_{смены} + t_{запр}, \quad (8)$$

где $\sum T_{пищи}$ – суммарное время приема пищи личным составом погрузочно-выгрузочной команды воинского эшелона (воинского транспорта) в течение суток (завтрак, обед и ужин принимается по 30 мин), мин; $t_{смены}$ – перерыв в работе станции в связи со сдачей и приемом смены работниками железнодорожного транспорта (машинистами локомотивов, составительскими бригадами, приемосдатчиками груза и багажа) (принимается 60 мин для утренней и вечерней смен); $t_{запр}$ – возможное запрещение погрузки или выгрузки в светлое время суток, связанное с возникновением особых ситуаций, (по распоряжениям на местах погрузки (выгрузки), мин.

В действующей методике [3] используется коэффициент g , который в зависимости от зимних условий при обильном снегопаде влияет на время погрузки эшелона и принимается равным в диапазоне от 1,5 до 2. Этот коэффициент увеличивает затраты времени $t_{пол}$

при необходимости очистки железнодорожного подвижного состава от снега и посыпки его песком.

В действующей методике используется коэффициент неполного использования погрузочно-выгрузочного места из-за различия норм на погрузку-выгрузку и неравномерности прибытия-отправления поездов, применяемый в диапазоне числовых значений 0,75–0,80. Данный коэффициент зависит от двух технологических элементов – неполного использования возможностей грузового пункта из-за различия норм на погрузку-выгрузку и неравномерности прибытия-отправления поездов. Суммарное значение составляющих коэффициента неполного использования погрузочно-выгрузочного места должно стремиться к единице. Тогда суточный бюджет времени за вычетом затрат времени на постоянные операции будет полностью использоваться для погрузки-выгрузки воинского эшелона и воинского транспорта. Предполагается, что неполное использование грузового места из-за различия норм на погрузку-выгрузку возникает в том случае, когда правила погрузки или технические возможности пунктов погрузки и выгрузки отличаются. Нормы погрузки и выгрузки ВВСТ определены [3] с учетом особенностей погрузочно-выгрузочных мест на железнодорожных станциях, средств крепления ВВСТ, количества вагонов в составе воинских эшелонов (воинского транспорта).

Погрузо-выгрузочные возможности грузового пункта по ряду причин не всегда полностью используются. Поэтому целесообразно включить поправочный коэффициент использования грузового места, диапазон числовых значений которого напрямую будет зависеть от двух его составляющих элементов – неравномерности прибытия-отправления и величины состава воинских эшелонов и воинских транспортов. Диапазон числовых значений $K_{исп}$ предлагается использовать согласно действующей методике расчета погрузочно-выгрузочной способности грузовых мест на железнодорожных станциях при организации воинских перевозок в интервале от 0,75–0,80.

Значение параметра $t_{пogr(выгр)}$ в формуле 1 принимается по максимальному времени погрузки группы вагонов из всех групп вагонов данной подачи с различным наименованием груза и требованиями к его размещению и креплению. При расчете перерабатывающей способности погрузочно-выгрузочного места необходимо $t_{пogr(выгр)}$ принимать равным времени погрузочно-выгрузочных операций для количества вагонов, соответствующих вместимости фронта погрузки. Это позволит определить наличную суточную перерабатывающую способность погрузочно-выгрузочного места. В случае необходимости расчета перерабатывающей способности мест погрузки на железнодорожной станции при прогнозируемых планах погрузки воинских эшелонов (воинского транспорта) и композиционных схемах размещения вагонов в составе эшелонов (транспорта) целесообразно произвести перерасчет с учетом занятости фронта погрузки.

Для обоснованного определения элементов формулы расчета перерабатывающей способности грузовых мест на железнодорожных станциях при погрузке (выгрузке) воинских грузов рассматриваются три вариан-

та соотношения количества вагонов в воинском эшелоне (воинском транспорте) $m_{\text{эш}}$ и вместимости фронта погрузки $m_{\text{фр}}$:

1) $m_{\text{эш}} = m_{\text{фр}}$ – количество вагонов в составе соответствует вместимости фронта, что способствует полному использованию всех погрузочно-выгрузочных устройств на погрузочно-выгрузочном месте;

2) $m_{\text{эш}} > m_{\text{фр}}$ – возникает необходимость подачи подвижного состава под погрузку (выгрузку) более чем в одну подачу. Соответственно при делении состава на подачи есть вероятность неполного использования грузового места из-за невозможности одновременного задействования всех погрузочно-выгрузочных устройств (рампы, аппарелей и др.) по причине неполной занятости грузового фронта одной из подач;

3) $m_{\text{эш}} < m_{\text{фр}}$ – как и в пункте 2, есть вероятность не-

полного использования грузового места из-за невозможности одновременного задействования всех погрузочно-выгрузочных устройств по причине неполной занятости грузового фронта одной подачи.

Параметр $t_{\text{пogr(выгр)}}$ уменьшается на 40 % при креплении ВВСТ на железнодорожном подвижном составе табельными приспособлениями (без проволочных растяжек); при въезде (съезде) закрепляемого транспорта с двух, трех или четырех точек – соответственно на 15, 25, 35 % [3, с. 11].

По результатам проведенных исследований, а также анализа требований методических пособий [3, с. 11; 5], получено обобщенное аналитическое выражение для расчета пропускной способности грузовых пунктов при погрузке-выгрузке воинских грузов на железнодорожных станциях и местах общего пользования

$$E_m = \frac{(1440 - T_{\text{пост}}) K_{\text{исп}}}{\left[\frac{m_{\text{эш}}^{\text{max}}}{m_{\text{фр}}} \right] (t_{\text{под}} + t_{\text{уб(отпр)}} + t_{\text{погр}} g + t_{\text{пogr(выгр)}} k_{\text{ноч}} k_{\text{пог}} k_{\text{пов}} k_{\text{лс}}) + t_{\text{ваг}}^{\text{прим}} (m_{\text{эш}} - m_{\text{эш}}^{\text{нг}}) + t_{\text{ваг}}^{\text{прим}} m_{\text{эш}}^{\text{нг}} d}, \quad (9)$$

где $K_{\text{исп}}$ – коэффициент использования полезной длины

фронта погрузочно-выгрузочного пути; $\left[\frac{m_{\text{эш}}^{\text{max}}}{m_{\text{фр}}} \right]$ – чис-

ло подач подвижного состава воинского эшелона (воинского транспорта) на фронт погрузки-выгрузки – наименьшее целое число, не меньшее результата выполнения операции $m_{\text{эш}}/m_{\text{фр}}$; $k_{\text{ноч}}$ – коэффициент, увеличивающий норму времени на размещение и крепление ВВСТ при погрузке (выгрузке) в темное время суток с соблюдением правил светомаскировки, а также при работе личного состава воинского эшелона в противогазах (принимается 1,2); $k_{\text{пог}}$ – коэффициент, увеличивающий норму времени на размещение и крепление ВВСТ при температуре воздуха -10°C и ниже, $+30^\circ\text{C}$ и выше, при сильном ветре, снегопаде, дожде, граде (принимается 1,2); $k_{\text{пов}}$ – коэффициент, увеличивающий норму времени на размещение и крепление ВВСТ при необходимости дополнительного фиксирования поворотных частей, узлов и агрегатов ВВСТ в объеме, близком к полному составу воинского эшелона (воинского транспорта) (принимается 1,2); $k_{\text{лс}}$ – коэффициент, увеличивающий норму времени на размещение и крепление ВВСТ при работе погрузочно-выгрузочной команды из числа личного состава, прибывшего из запаса, или военнослужащих срочной военной службы из числа нового пополнения (принимается 1,2).

Получено 15.05.2025

S. N. Timashkov. Improvement of the method of calculating the throughput and processing capacity of cargo points for military cargo.

The article explores various methods of calculating the parameters that determine the throughput and processing capacity of military cargo loading and unloading points, and examines the features of the technology for preparing and carrying out cargo operations with wheeled, tracked, and other vehicles, which determine the duration of individual auxiliary, main, and final operations.

Таким образом, полученное общее выражение (9) для расчета пропускной способности грузовых пунктов при погрузке-выгрузке воинских грузов на железнодорожных станциях и местах общего пользования позволяет учитывать технологически важные параметры, значимо влияющие на итоговую оценку общих затрат времени на работу с воинскими эшелонами (транспортом).

Список литературы

- 1 Тимашков, С. Н. Исследование параметрического состава переменных формулы расчета пропускной способности пунктов погрузки-выгрузки воинских грузов на железнодорожных станциях и подъездных путях / С. Н. Тимашков // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов : междунар. сб. науч. тр. – Гомель : БелГУТ, 2024. – Вып. 6. – С. 147–152.
- 2 Тимашков, С. Н. Опыт организации воинских перевозок и погрузки-выгрузки грузов на местах общего пользования железнодорожных станций / С. Н. Тимашков // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов : междунар. сб. науч. тр. – Гомель : БелГУТ, 2023. – Вып. 5. – С. 174–185.
- 3 Методическое пособие по расчету времени, необходимого на перевозку воинского эшелона : утв. приказом ЗМОТ – начальника тыла ВС № 10/298 от 10.03.2016 г. – Минск, 2016. – 16 с.
- 4 Падня, В. А. Применение теории массового обслуживания на транспорте / В. А. Падня. – М. : Транспорт, 1968. – С. 124–131.
- 5 Гордюк, А. Г. Военные сообщения : учеб. пособие / А. Г. Гордюк, М. Г. Козлов; М-во образования Респ. Беларусь; Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2014. – 265 с.

ПОДГОТОВКА КАДРОВ

УДК 81'271:656.08

Н. А. ГРИШАНKOVA, кандидат филологических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ПУТЕЙ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ОБУЧЕНИЯ ОЗНАКОМИТЕЛЬНОМУ ЧТЕНИЮ НА ИНОСТРАННОМ ЯЗЫКЕ

Представлены некоторые рациональные приемы работы при обучении ознакомительному чтению. Рассмотрены факторы, обеспечивающие достижение студентами минимального уровня зрелого ознакомительного чтения в ограниченные сроки обязательного обучения иностранному языку в неязыковом учреждении высшего образования. Описывается опытная проверка эффективности предлагаемой методики.

Одной из задач учреждения высшего образования (УВО) в области иностранного языка является обучение будущих инженеров ознакомительному чтению, поскольку этот вид чтения наиболее часто используется при работе с литературой по специальности, и владение им определяет, будет ли выпускник регулярно читать специальную литературу на иностранном языке. Кроме того, зрелое ознакомительное чтение характеризуется автоматизированностью его технической стороны, что важно и необходимо и для развития других видов чтения [1–4; 6]. Поэтому оно является одним из основных видов чтения, которым должны овладеть студенты в процессе обучения в неязыковом УВО.

Однако, как показывает практика обучения, по окончании обязательного курса в учреждении высшего образования студенты не достигают минимального уровня владения этим видом чтения. Это свидетельствует о недостаточной разработанности соответственной методики обучения.

В процессе чтения от читающего требуются одновременные решения целых серий задач. Когда эти задачи представлены нерасчлененно, в комплексе (как это имеет место при чтении текстов), их решение может оказаться не под силу незрелому читателю.

Для успешного развития умений, которые необходимы для ознакомительного чтения, следует обеспечить отработку каждого из них в относительной «изоляции» от остальных. Это может быть осуществлено путем вычленения отдельных задач, возникающих перед читающим при чтении текста и требующих применения того или иного конкретного умения, и тренировки обучающихся в их решении на элементах текста разных уровней (словах, предложениях, абзацах). Иначе говоря, предлагается возможность развития у студентов соответствующих умений на иностранном языке в процессе выполнения ими специальных упражнений, представляющих собою « типовые » задачи. При выполнении таких упражнений внимание обучаемых направляется на решение одной, четко сформулированной задачи, что, с одной стороны, облегчает их работу, а с другой – способствует формированию более интенсивной автоматизации необходимых для её решения операций. Большое количество однотипных упражнений на разном материале может обеспечить достаточную тренировку в использовании соответствующих умений.

Для проверки эффективности этого направления работы было проведено опытное обучение. Его основной задачей являлась проверка положения о том, что использование специальных упражнений, направленных на обучение отдельным умениям ознакомительного чтения (в сочетании с упражнениями в самой деятельности) может обеспечить развитие этого вида чтения до минимального уровня зрелости без увеличения объема текстового материала и затрачиваемого студентами учебного времени. Минимальный уровень зрелого ознакомительного чтения характеризуется пониманием не менее 70 % содержащейся в тексте информации (обязательно включая всю основную) при скорости чтения не ниже 180–190 слов в минуту (на материале французского языка). Опытное обучение проводилось на первом курсе (1998–2000 годы) в Белорусском государственном университете транспорта. В качестве основного учебного пособия был использован учебник французского языка для технических вузов (строительно-архитектурного профиля), составленный коллективом преподавателей учреждения высшего образования И. Р. Прудниковой, Л. Ф. Станкевич, Л. Т. Медведевой, Н. Б. Постниковой [5]. Его выбор обусловлен тем, что в нём предусматривается целенаправленное развитие различных видов чтения, в том числе и ознакомительного. Это развитие осуществляется путем практики студентов в соответствующих видах чтения, которые регулируются характером текста, заданием перед его чтением и проверкой понимания читаемого, т. е. используется путь «упражнение в деятельности», при котором все необходимые умения развиваются в комплексе.

В опытных группах в отличие от контрольных работ на материале текстов, предусмотренных учебником, использовались специальные упражнения. Их задания воспроизводили в изолированном виде те задачи, которые возникают перед читающим в процессе чтения. Назначение этих упражнений – научить студента решать соответствующие задачи адекватно и быстро, что обеспечивается на основе многократного повторения заданий одного типа на разном материале.

Последующее чтение текстов преследовало цель приучить обучающихся пользоваться овладеваемыми умениями в комплексе.

Материалом упражнений служили как отдельные слова и предложения, так и тексты – в зависимости от

умения, развитие которого они преследовали. Для развития умений, связанных с пониманием языкового материала, использовались отдельные слова, словосочетания, предложения и абзацы, а для развития умений, связанных с пониманием содержания читаемого, – тексты и абзацы (как аналоги текста). Развитие всех намеченных умений в пределах одного цикла занятий (8 академических часов) происходило параллельно и осуществлялось до чтения соответствующих текстов.

В пределах каждого цикла соблюдалась определенная последовательность работы над соответствующими умениями.

Цепочка упражнений начиналась с развития умений, связанных с пониманием языкового материала. Оно шло в двух направлениях:

- опознавание вновь изучаемого языкового материала;
- автоматизация узнавания уже известного языкового материала.

Выполнение этих упражнений на протяжении всего цикла обеспечивает автоматизацию основных приемов оперирования языковым материалом при чтении, что является необходимым условием развития зрелого ознакомительного чтения. Важность и целесообразность работы в этом направлении (развитие соответствующих автоматизмов) подтверждается данными о фактическом уровне владения ознакомительным чтением студентами по окончании обязательного курса иностранного языка. Проверка показала, что самую многочисленную в процентном отношении группу (51,4 %) составляют студенты, не владеющие беглостью чтения (скорость их чтения ниже минимального порога скорости ознакомительного чтения на французском языке) при удовлетворительном результате понимания прочитанного. Иначе говоря, наблюдается явное «отставание» техники чтения. Тем самым диктуется необходимость специальной работы по её улучшению и совершенствованию. На это и направлены упражнения в быстром опознавании (узнавании) известного языкового материала по формальным и схематическим признакам.

Кроме того, эти упражнения подготавливают базу для выполнения упражнений на материале более крупных элементов текста, направленных на развитие умений, связанных с пониманием содержания читаемого. Последние выполняются не с самого начала цикла, а с некоторым отставанием. С помощью этой группы упражнений реализуются две задачи: с одной стороны, они способствуют совершенствованию технических навыков, а с другой – приобретению умений объединять отдельные языковые единицы в смысловое целое, устанавливать связи между ними и т. д. Чтение связного текста завершает работу внутри цикла.

Таким образом, в пределах цикла занятий предусматривалось постепенное понижение удельного веса языковых упражнений и увеличение количества упражнений в самой деятельности (чтении текстов).

Опытное обучение состояло из двух этапов.

В процессе обучения на первом этапе (первый семестр) темп выполнения упражнений, целью которых была автоматизация узнавания языкового материала,

повышался постепенно, и к концу первого этапа было введено жесткое ограничение времени их выполнения (оно вычислялось в соответствии с минимальной скоростью ознакомительного чтения на французском языке).

По окончании первого этапа опытного обучения был проведен промежуточный срез, который показал, что основные характеристики ознакомительного чтения студентов имели те же показатели, какие наблюдались в начале опытного обучения. Понимание читаемого было признано удовлетворительным; однако, как и в начале обучения, показатель скорости чтения был значительно ниже минимального порога скорости ознакомительного чтения на французском языке (в среднем – 120 слов в минуту, в начале обучения – 119 слов в минуту). На основании результатов среза был сделан вывод о том, что в дальнейшей работе особое внимание должно быть обращено на *ускорение* процессов перцептивной и смысловой переработки языкового материала.

Содержание второго этапа опытного обучения (второй семестр) оставалось тем же, что и на первом этапе, но в целях ускорения процессов восприятия и узнавания (опознавания) языкового материала с самого начала обучения было введено жесткое ограничение времени выполнения упражнений, особенно тех, которые связаны с дифференциацией известного языкового материала по формальным и семантическим признакам. При необходимости упражнение повторялось несколько раз, пока каждый студент не достигал намеченного темпа работы. Опытное обучение показало целесообразность использования избранного пути – без затраты дополнительного времени (вся работа осуществлялась только во время аудиторных занятий) и увеличения количества текстов для чтения (по сравнению с контрольными группами). Студенты опытных и контрольных групп прочитали за учебный год 90 страниц. К концу первого курса подавляющее большинство студентов вплотную приблизились к показателям минимального порога зрелости ознакомительного чтения, а многие достигли его и превысили (таблица 1). Мы считаем, что студент приближается к показателям минимального порога зрелости ознакомительного чтения в том случае, если скорость его чтения про себя превышала его индивидуальную скорость чтения вслух (при соответствующих показателях понимания читаемого.)

Таблица 1 – Результаты обучения на первом курсе

Результат (подгруппа)	Количество студентов, %	
	Опытная группа I	Контрольная группа
Достигли минимального порога ознакомительного чтения (а)	50	–
Приблизились к минимальному порогу ознакомительного чтения (б)	3	18,75
Не приблизились к минимальному порогу ознакомительного чтения (в)	2	81,25

При удовлетворительных результатах понимания наметившиеся подгруппы испытуемых (а, б, в) показали результаты по скорости ознакомительного чтения, приведенные в таблице 2.

Таблица 2 – Скорость ознакомительного чтения

Группа студентов	Скорость	
	средняя	диапазон
Опытная группа:		
– подгруппа а	185,5	181–192,5
– подгруппа б	150	140–166,5
– подгруппа в	111	92,5–129
Контрольная группа:		
– подгруппа а	–	–
– подгруппа б	147	134–165
– подгруппа в	101	74,5–129

Сравнение данных конечного, промежуточного и начального срезов показывает, что основной рост уровня владения ознакомительным чтением произошел в первой опытной группе на втором этапе обучения, поскольку единственным измерением в методике работы на втором этапе было ускорение выполнения упражнений, но влияние этого фактора (наряду с повторной апробацией предлагаемой методики работы) проверялось в опытной группе II (второй семестр первого курса 1999/2000 учебного года). Обучение в этих группах подтвердило важность ограничения времени выполнения упражнений для становления зрелого ознакомительного чтения. Так, соблюдение этого условия позволило получить близкие к приведенным выше результаты по окончании работы в течение только одного семестра (таблица 3).

Таблица 3 – Результаты обучения студентов в опытных группах II, III, IV

Результат (подгруппа)	Количество студентов, %		
	Опытная группа II	Опытная группа III	Опытная группа IV
Достигли минимального порога ознакомительного чтения (а)	28,6	41,7	40
Приблизились к минимальному порогу ознакомительного чтения (б)	42,9	50	50
Не приблизились к минимальному порогу ознакомительного чтения (в)	28,5	8,3	10

Соответствующие результаты по скорости ознакомительного чтения приводятся в таблице 4.

Таблица 4 – Скорость ознакомительного чтения в опытных группах II, III, IV

Опытная группа	Скорость	
	средняя	диапазон
Группа II:		
– подгруппа а	181	–
– подгруппа б	149	135–172
– подгруппа в	101	81–114
Группа III:		
– подгруппа а	212	183–258
– подгруппа б	174	172,2–175
– подгруппа в	108	–
Группа IV:		
– подгруппа а	214	194,5–258
– подгруппа б	173	172–175
– подгруппа в	99,5	–

Получено 05.05.2025

N. A. Grishankova. The study of some ways to intensify the teaching of introductory reading in a foreign language.

Some rational methods of work in teaching introductory reading are presented. The factors ensuring that students achieve a minimum level of mature introductory reading in a limited period of compulsory foreign language teaching in a non-linguistic institution of higher education are considered. An experimental verification of the effectiveness of the proposed methodology is described.

Получение аналогичных результатов по окончании обучения в течении одного семестра (опытная группа II, опытная группа III, опытная группа IV) отвергает предположение о действии фактора времени в первой опытной группе.

Полученные результаты трехкратного опытного обучения свидетельствуют об эффективности предложенной методики обучения ознакомительному чтению на французском языке. Есть все основания полагать, что совершенствование разработанных упражнений и техники их выполнения позволит значительно повысить полученные результаты.

На основании полученных в результате опытного обучения данных можно утверждать, что применение предложенной методики работы (использование специальных упражнений в овладении отдельными умениями в сочетании с упражнениями в самой деятельности) соответствует интенсификации обучения ознакомительному чтению в неязыковом УВО: достижение минимального уровня зрелости этого вида чтения может быть обеспечено к концу не только первого курса, но и первого семестра (количество прочитанного текстового материала – 45 страниц).

Полученное улучшение качества ознакомительного чтения на французском языке по окончании обучения на первом курсе создает реальные предпосылки:

- для накопления студентом необходимого для чтения специальной литературы языкового материала путем ознакомительного чтения текстов, близких к специальности, на последующих этапах обучения;
- для совершенствования этого вида чтения на факультативных занятиях на основе увеличения объема читаемого, что уже в стенах УВО дает возможность чтения специальной литературы на иностранном языке в целях профессиональной подготовки.

Список литературы

- 1 Берман, И. М. Очерки методики обучения чтению на иностранном языке/ И. М. Берман – Киев, 2005. – 354 с.
- 2 Белогаш, М. А. Когнитивные аспекты развития информационно-образовательной среды в высшей школе в эпоху цифровизации / М. А. Белогаш, М. В. Мельничук // Российский гуманитарный журнал. – 2020. – № 9 (2). – С 123–132.
- 3 Клычникова, З. И. Психологические особенности обучения чтению на иностранном языке / З. И. Клычникова. – М.: Просвещение, 1983. – 207 с.
- 4 Лебедева, Е. А. К вопросу об обучении ознакомительному чтению на иностранном языке в электронных сетевых источниках информации / Е. А. Лебедева // Гуманитарные науки. Вестник финансового университета. – 2022. – № 12. – С. 80–83. – DOI: 10.26794/2226-7867-2022-12.
- 5 Учебник французского языка для технических вузов (строительно-архитектурного профиля) / И. Р. Прудникова, Л. Ф. Станкевич, Л. П. Медведева, Н. Б. Постникова. – М.: Выш. шк., 1976. – 406 с.
- 6 Рогова, Г. В. Чтение как цель и средство обучения иностранному языку/ Г. В. Рогова // Иностранные языки в школе. – 1977. – № 3. – С. 84–92.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Статьи, направляемые в редакцию журнала «Вестник БелГУТа: Наука и транспорт», должны соответствовать следующим требованиям.

1 Материал статьи должен отражать профиль журнала и излагаться предельно ясно на белорусском или русском языке. На оборотной стороне последнего листа ставится подпись автора (авторов) и указывается название рубрики, к которой относится статья.

2 Статья должна быть представлена в одном экземпляре на бумажном носителе [для иногородних – по почте (адрес электронной почты: tatiana-101@list.ru)] и тщательно отредактирована. Одновременно текст статьи представляется в формате текстового редактора MS Word в виде обычного текстового файла – по фамилии автора (авторов), гарнитура шрифта – Times New Roman.

3 Текст статьи должен быть оформлен в соответствии с ГОСТ 7.5–98 «Журналы, сборники, информационные издания. Издательское оформление публикуемых материалов», ГОСТ 2.105–95 «Межгосударственный стандарт. Общие требования к текстовым документам» и напечатан на белой бумаге формата А4 на лазерном принтере. Объем статьи – 0,35 авторского листа (14000 печатных знаков, включая пробелы между словами, знаки препинания и др.), т. е. не более трех полных страниц текста формата А4, напечатанного в две колонки размером шрифта (кегель) 10 pt по следующему образцу:



4 Текст статьи должен содержать:

- в левом верхнем углу первой страницы – индекс УДК размер шрифта – 10 pt).

- через интервал на формат 17,2 см – инициалы и фамилия автора (авторов) прописным светлым курсивом, а учёная степень, наименование и местонахождение организаций, в которых работают авторы, – строчным светлым курсивом 10 pt;

- ниже, через интервал на формат 17,2 см – название статьи, напечатанное прописными буквами, жирным шрифтом, без переносов (высота букв – 11 pt), которое должно отражать основную идею выполненного исследования, быть по возможности кратким, содержать ключевые слова, позволяющие идентифицировать данную статью;

- через интервал на формат 17,2 см – аннотация, в которой дается краткая характеристика статьи (размер шрифта – 9 pt, объем – до 10 строк, или 100–150 слов);

- через интервал в две колонки форматом 8,35 см каждая, с интервалом между ними 0,5 см – текст статьи (размер шрифта – 10 pt), межстрочный интервал – одинарный, абзац – 5 мм, или 3 печатных знака;

- через интервал в две колонки форматом 8,35 см каждая – список литературы (размер шрифта – 9 pt);

- через интервал – дата поступления рукописи в редколлегию (размер шрифта – 8 pt); например: Получено 05.06.2009;

- через интервал на формат 17,2 см – фамилия, инициалы автора (авторов) – прямым жирным строчным шрифтом 10 pt, название статьи – светлым строчным прямым шрифтом 10 pt; аннотация статьи на английском языке шрифтом 9 pt.

5 Научная статья должна включать:

- введение, где должен быть дан краткий обзор литературы по данной проблеме. Указаны не решенные ранее вопросы, сформулирована и обоснована цель работы, т. е. поставлена задача;

- основную часть, содержащую описание методики, аппаратуры, объектов исследования и подробное освещение содержания исследований, которые могут быть иллюстрированы графиками или подтверждены расчетами в табличной форме. Полученные результаты должны быть проанализированы с точки зрения их научной новизны и сопоставлены с соответствующими известными данными. Основная часть также может делиться на подразделы (с разъяснительными заголовками). Иллюстрации, формулы, уравнения и сноски, встречающиеся в статье, должны быть пронумерованы в соответствии с последовательностью их размещения в тексте;

- заключение, в котором в сжатом виде формулируются основные полученные результаты с указанием их новизны, преимуществ и возможностей применения.

6 Графический материал в статье (рисунки, схемы, диаграммы) должен содержать не более пяти рисунков и быть оформлен в соответствии с требованиями Р 50-77-88 «Рекомендации ЕСКД. Правила выполнения диаграмм». Каждый рисунок должен иметь название (размер шрифта – 9 pt светлым строчным), которое размещается под ним (например: Рисунок 1 – Схема управления электродвигателя). Надписи на самих рисунках набирают шрифтом 9 pt. Размещают рисунок после ссылки на него в тексте. Сканированные рисунки редколлегией не принимаются.

7 Таблицы (не более трех) располагаются непосредственно после текста, где они впервые упоминаются. Каждая таблица должна иметь номер и название, которое размещается над ней (например: Таблица 1 – Результаты измерений). Размер шрифта названия и основного текста таблицы – 9 pt, головки (шапки) – 8 pt.

8 Размерности всех величин, используемых в тексте, должны соответствовать Международной системе единиц (СИ).

9 Формулы набирают тем же размером шрифта и той же гарнитурой, что и основной текст (буквы русского и греческого алфавитов, числа, знаки математических функций – прямым шрифтом, латинские буквы – курсивом).

10 К рукописи прилагаются:

- сведения об авторе [Ф. И. О. полностью, ученая степень и звание, место работы и должность, домашний адрес, контактный телефон (служебный, мобильный, e-mail)];

- рекомендация кафедры, научной лаборатории или учреждения, в котором выполнена работа, о целесообразности публикации статьи;

- экспертное заключение о возможности публикации статьи.

11 Рукописи, которые не соответствуют указанным требованиям, к рассмотрению не принимаются.

12 Редколлегия по предварительной научно-технической экспертизе может направлять статью на рецензию специалисту и с учетом этой рецензии даёт аргументированное заключение о возможности публикации статьи.