БелГУТ

ВЕСТНИК
Белорусского Государственного Университета Транспорта

НАУКА и ТРАНСПОРТ

2/2018

ISSN 2227-1120

ВЕСТНИК Белорусского Государственного Университета Транспорта

Научно-практический журнал

НАУКА и ТРАНСПОРТ

№ 2(37)/2018

«ВЕСТНИК БелГУТа: НАУКА И ТРАНСПОРТ»

Научно-практический журнал **№ 2 (37)** 2018 года

Издается с апреля 2000 года

Выходит один раз в полугодие

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

Главный редактор *Ю. И. КУЛАЖЕНКО*

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

Редакционная коллегия:
А. А. СИВАК, В. М. МОРОЗОВ, В. Н. ШУБАДЕРОВ, В. И. СЕНЬКО,
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 *И. И. Эвентов*
Технический редактор *В. Н. Кучерова*
Корректор *Т. А. Пугач*
Компьютерная верстка – *С. В. Ужанкова*

Подписано в печать 26.12.2018 г. Формат 60x84 1/8. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman.
Печать на ризографе. Усл. печ. л. 10,23. Уч.-изд. л. 10,44. Тираж 100 экз. Изд. № 103. Зак. № 284.

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

© Оформление. БелГУТ, 2018

ВЕСТНИК БелГУТа: НАУКА И ТРАНСПОРТ

Научно-практический журнал

2018. № 2 (37)

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ

Комнатный Д. В. Воздействие некондуктивных импульсных помех на корпуса-экраны технических средств микропроцессорных централизаций 4

Галушко В. Н., Дробов А. В., Музок А. П. Программный комплекс анализа надежности систем электроснабжения железнодорожной отрасли 7

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

Александров Д. Ю., Жгунцова А. В. Совершенствование автоматизированной системы управления дорожной организацией 14

Аземша С. А. Разработка направлений повышения безопасности дорожного движения в Республике Беларусь с применением статистических критериев оценки различий в двух выборках 17

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Пильгун Т. В., Казаков Н. Н., Литвинова И. М. Проблемы и перспективы цифровой трансформации в транспортной логистике 22

Казаков Н. Н. Применение нейронных сетей для выбора вектора развития региональной транспортной системы 27

Поддубный А. А., Гордон В. А. Особенности исследования конструктивно-нелинейных систем на примере мостовых конструкций 31

Козунова О. В., Ташкинов А. Г., Каханчик М. П., Заяц В. В. Оптимизация состава строительного раствора с отработанной формовочной смесью по прочности и пластичности 34

ПУТЬ И ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО

Гриб В. М., Мамсиков Н. В., Ковтун П. В., Альховская А. А. Современные подходы к развитию путевого хозяйства 37

Моисеенко В. Л., Ковтун П. В., Письменная Н. В. Особенности 3D-моделирования выпровочно-подбивочно-рихтовочной машины 40

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ТРАНСПОРТА

Михальченко А. А., Гурский Е. П. Параметрическая оценка факторов обновления парка пассажирских вагонов на Белорусской железной дороге 44

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

Ерофеев А. А., Кузнецов В. Г., Козлов В. Г., Глевицкий Г. В. Применение предметно-ориентированной ГИС для решения задач оперативного управления перевозочным процессом на Белорусской железной дороге 50

Ерофеев А. А., Ковтун П. В., Дубровская Т. А. Проблемы повышения скорости движения поездов на существующих железнодорожных линиях 57

Макриденко А. Б., Пильгун Т. В., Кузнецов В. Г., Литвинова И. М., Страдомский М. Ю., Козлов В. Г. Оценка распределения эксплуатационной работы по организации вагонопотоков на технических станциях Белорусской железной дороги 60

Кузнецов В. Г., Федоров Е. А., Козлов В. Г., Григорьев С. В. Цифровая модель ГИС-технологий для решения задач оперативного управления перевозочным процессом 66

Пазойский Ю. О., Савельев М. Ю., Сидраков А. А. Специфика применения зонного параллельного графика движения пригородных поездов 71

Михальченко А. А., Власюк Т. А. Моделирование развития пассажирских хабов в транспортной системе Республики Беларусь 73

Власюк Т. А. Ретроспективный анализ взаимосвязи развития железнодорожного транспортного сообщения и агломерации 78

ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Негрей В. Я., Масловская М. А. Сфера равноэкономических решений целесообразного использования тепловозной и электрической тяги на Белорусской железной дороге 82

Осипенко Л. В., Потылкин Е. Н. Исследование доходов Белорусской железной дороги при эксплуатации вагона инвентарного парка за пределами Республики Беларусь 85

АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ

УДК 656.25 (078.5)

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

ВОЗДЕЙСТВИЕ НЕКОНДУКТИВНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ НА КОРПУСА-ЭКРАНЫ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ЦЕНТРАЛИЗАЦИЙ

Рассмотрены структуры микропроцессорных централизаций и проанализированы некондуктивные электромагнитные помехи, которые могут воздействовать на распределенное оборудование централизаций во многих точках. Показано, что в современных условиях необходимо учитывать поражение централизации электромагнитными импульсами преднамеренного воздействия. Исследовано проникновение импульсных некондуктивных помех через апертуры в корпусах-экранах микропроцессорных технических средств. Получены формулы для расчета напряженности электромагнитного поля и напряжения, формируемых в апертуре при внешнем облучении. Обоснована возможность моделирования параметров этого поля путем непосредственного воздействия генератором-имитатором помех на апертуру.

Современный этап развития сигнализации, централизации и блокировки на железных дорогах характеризуется широким внедрением микропроцессорных централизаций стрелок и сигналов малых, средних и крупных станций.

Микропроцессорная централизация (МПЦ) представляет собой сложный программно-аппаратный комплекс, который может иметь различную структуру. Кроме централизованной, при разработке МПЦ целесообразно использовать распределенные структуры: радиальную, магистральную, сетевую. Распределенными структурами обладают многие зарубежные МПЦ известных производителей: Ebilock-950, SimisW, ESTW L90, Alister. В МПЦ централизованной структуры также имеется значительное число напольных микропроцессорных контроллеров нижнего уровня, например, в МПЦ М3-Ф [1, 2]. Наличие большого числа микропроцессорных технических средств, распределенных на значительной площади путевого парка железнодорожной станции, приводит к тому, что аппаратура МПЦ становится подверженной действию некондуктивных электромагнитных помех во многих точках.

По материалам работ [3, 4], на МПЦ могут воздействовать виды некондуктивных электромагнитных помех, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – **Виды некондуктивных электромагнитных помех**

Название	Частотный диапазон
Излучение от разрядов молнии	$100\cdot10^3$ – $10\cdot10^6$ Гц
Мощные радиопередатчики	10–$10\cdot10^9$ Гц
Аварийные режимы линий электропередач и контактной сети	$0.1\cdot10^3$ – $150\cdot10^3$ Гц
Высоковольтные установки	3–$4\cdot10^6$
Электромагнитные импульсы преднамеренного воздействия	До $10\cdot10^9$ Гц

Перечисленные в таблице 1 некондуктивные электромагнитные помехи имеют различную распространенность и неодинаковую опасность для микропроцессорной техники централизации. Наиболее вероятно воздействие излучения молниевых разрядов и аварийных режимов линий электропередач и контактной сети. Наличие мощных радиоизлучателей со значительными боковыми лепестками излучения вблизи железнодорожных станций маловероятно. Высоковольтные и высокоточные установки, как правило, не располагаются вблизи железнодорожных станций и должны отвечать нормам помехоэмиссии. На сортировочных станциях к таким установкам относятся электромагнитные вагонные замедлители сортировочных горок, но в настоящее время такие замедлители не получили широкого распространения. Наличие промышленных источников некондуктивных помех можно выявить путем измерений и устранить помехи на стороне источника.

С другой стороны, современное положение в мире заставляет предполагать возможность поражения МПЦ электромагнитными импульсами преднамеренного воздействия (ЭИПВ). При атаке генераторы таких импульсов можно разместить в пределах прямой видимости объекта. На основании [5, 6], для излучения ЭИПВ будут применяться направленные антенны: рупорные, линзовые и зеркальные. Первые генерируют сферическую слабонаправленную волну, остальные – плоскую высоконаправленную электромагнитную волну. Во временной области сферическая волна описывается следующей формулой [7]:

$$E(r,t)=\frac{E_m}{R}f\left(t-\frac{R}{c}\right)e^{-\gamma R}, \qquad (1)$$

где E – напряженность электромагнитного поля, В/м; E_m – амплитуда напряженности, В/м; R – расстояние, м; t – время распространения, с; c – скорость света, м/с; γ – коэффициент затухания в среде, 1/м.

Аналогично, плоская волна имеет представление

$$E(r,t)=\frac{E_m}{2}f\left(t-\frac{R}{c}\right)e^{-\gamma R}. \qquad (2)$$

Формулы (1) и (2) показывают, что ЭИПВ слабо затухают с расстоянием, особенно при малом коэффициенте затухания γ в воздухе. Также ЭИПВ, по сравнению с другими некондуктивными помехами, имеют наиболее широкую полосу частот спектра (см. таблицу 1). Следовательно, ЭИПВ являются наиболее опасными некондуктивными электромагнитными помехами. Защита от них затрудняется и тем обстоятельством, что практически невозможно добиться достаточного удаления мест

возможной скрытой установки генераторов ЭИПВ (например, на микроавтобусе) от территорий железнодорожной станции и их постоянного контроля силами охраны. С другой стороны, к МПЦ предъявляются особо высокие требования по функциональной безопасности [2]. Поэтому проблема анализа и прогнозирования устойчивости и защищенности МПЦ по отношению к некондуктивным сверхширокополосным импульсным помехам, в том числе ЭИПВ, является крайне важной. Задачей настоящего исследования является рассмотрение путей проникновения этих помех в аппаратуру МПЦ.

Основным методом защиты от некондуктивных помех является электромагнитное экранирование. Эффективность экранирования, в значительной степени определяется наличием в экране неоднородностей: отверстий, щелей, болтовых соединений. Каждая неоднородность является паразитной антенной, которая передает некондуктивную помеху внутрь объема, защищенного экраном [8].

Восприимчивость паразитных апертурных антенн в виде прямоугольных и круглых отверстий по [5, 9] характеризует коэффициент использования $K_и$. По материалам [5] для прямоугольного отверстия $K_и = 1$, а для круглого $K_и = 1/2\pi$ с учетом того, что паразитная антенна имеет крайне низкие допуски по точности. Таким образом, прямоугольные отверстия являются наиболее опасными.

Согласно [10] апертура вырезает часть фронта импульсной электромагнитной волны и образует в плоскости раскрыва импульс той же формы, которую имеет импульс, излученный источником помех. Для определения амплитуды принятого импульса через коэффициент использования записывается уравнение баланса мощности антенны, выраженной через вектор Пойнтинга [7, 11]. При этом предполагается, что вся поглощенная антенной мощность переизлучается внутрь экрана, что допустимо по принципу наихудших условий:

$$\Pi_{прин} A_{эф} = \Pi_{изл} A_{геом}, \qquad (3)$$

где $\Pi_{прин}$ – принимаемый вектор Пойнтинга, Вт/м^2; $A_{эф}$ – эффективная площадь антенны, м^2, В; $\Pi_{изл}$ – излучаемый вектор Пойнтинга, Вт/м^2, $A_{геом}$ – геометрическая площадь антенны, м^2.

По [11] вектор Пойнтинга выражается через напряженность электромагнитного поля в частотном представлении:

$$\Pi = \frac{\left|\vec{E}(j\omega)\right|^2}{Z_0}, \qquad (4)$$

где $\vec{E}$ – напряженность электромагнитного поля, В/м; ω – круговая частота, рад/с, Z_0 – сопротивление свободного пространства, Ом.

Подстановка (4) в (3) после преобразований дает:

$$\left|\vec{E}_{прин}(j\omega)\right|^2 A_{эф} = \left|\vec{E}_{изл}(j\omega)\right|^2 A_{геом};$$

$$\left|\vec{E}_{изл}(j\omega)\right|^2 = \left|\vec{E}_{прин}(j\omega)\right|^2 \frac{A_{эф}}{A_{геом}}. \qquad (5)$$

Отношение эффективной и геометрической площадей апертурной антенны по определению есть коэффициент использования. Поэтому амплитуда электромагнитного импульса в раскрыве антенны

$$E_{m изл} = \sqrt{K_и} E_{m прин}. \qquad (6)$$

Если известна напряженность электромагнитного поля в раскрыве антенны, то электромагнитное поле внутри экрана может быть вычислено по формулам, приведенным в [12].

Восприимчивость паразитных щелевых и штыревых антенн по [13, 14] характеризует эффективная длина $l_{эф}$. При этом в антенне возникает импульс напряжения U с амплитудой U_m, которые вычисляются по формулам

$$U(j\omega) = l_{эф} E_{прин}(j\omega); \quad U_m = l_{эф} E_{m\ прин}. \qquad (7)$$

Известное напряжение на антенне дает возможность вычислить электромагнитное излучение от нее внутри экрана по формулам, указанным в [12].

Для расчета эффективной длины антенны справедлива формула [14]

$$l_{эф} = 2{,}4\left(\ln\frac{1}{\rho} - 1\right)\frac{\lambda}{2\pi}, \qquad (8)$$

где ρ – параметр, численно равный диаметру основания штыревой антенны либо четверти толщины щелевой антенны, м; λ – длина волны, м.

Анализ формулы (8) показывает, что для частот спектра помехи меньших единиц мегагерц эффективная длина будет весьма велика. Во-первых, чем меньше частота, тем больше длина волны. Во-вторых, для паразитных антенн ρ имеет порядок 10^{-3}, тогда порядок $1/\rho$ составит 10^3. Логарифм же большого числа есть число большое, так как логарифм – строго возрастающая функция. Поэтому для целей анализа проникновения импульсных помех через рассматриваемые антенны допустимо считать эффективную длину равной геометрической длине. Этим объясняется значительное снижение эффективности экранирования при наличии в экране щелей без электромагнитного уплотнения проводящей прокладкой [8].

Из формул (7) следует, что имеется возможность создать с помощью генератора-имитатора помех напряжение, непосредственно приложенное к щели или болтовому соединению и совпадающее с напряжением от некондуктивной помехи. В свою очередь, для апертурных антенн напряжение на антенне и напряженность поля в раскрыве связаны формулами [11, 12]:

– для прямоугольной антенны –

$$E(j\omega) = \frac{U_m f(j\omega)}{b}, \qquad (9)$$

– для круглой антенны –

$$E(j\omega) = \frac{U_m f(j\omega)}{r}, \qquad (10)$$

где f – комплексная функция частоты; b – длина стороны антенны, м; r – радиус кругового отверстия, м.

Формулы (9) и (10) показывают, что такая же возможность имитации некондуктивных помех имеется и для паразитных апертурных антенн. Таким образом может быть осуществлена косвенная оценка воздействия некондуктивных помех на аппаратуру МПЦ при непосредственном воздействии на неоднородность экрана генератором-имитатором импульсных помех, в том числе электростатического разряда. Если генератор не мо-

жет создать импульс, форма которого совпадает с формой импульса сверхширокополосной помехи, то допустимо воздействие эквивалентным импульсом. В [12] приведены соотношения для вывода условий эквивалентности импульсов, полученные спектрально-энергетическим способом. Условием эквивалентности импульсов является равенство их энергий и активных полос частот. Этот способ дает наиболее адекватные условия эквивалентности для рассматриваемой в статье задачи, так как возможность сбоя или отказа микроэлектронной элементной базы определяется энергией импульса [7], а ширина спектра определяет проникающую способность помехи и должна совпадать у обоих импульсов.

Такая косвенная оценка позволяет сократить объем испытаний, снижает потребность в дорогостоящем испытательном оборудовании, тем самым обеспечивает экономические выгоды для производителей МПЦ.

Изложенные в статье результаты позволяют сделать следующие выводы.

Современные МПЦ являются чувствительными к действию некондуктивных помех. Особенную опасность для них представляют ЭИПВ, так как они обладают особо широкой полосой спектра и высокой амплитудой. Воздействие таких помех недопустимо снижает функциональную безопасность МПЦ.

Основным средством защиты от некондуктивных помех является экранирование. Так как изготовить экраны без неоднородностей по техническим условиям невозможно, а каждая неоднородность является паразитной антенной, снижающей коэффициент экранирования, то необходим анализ проникновения помех через неоднородности электромагнитных экранов.

Свойства паразитных апертурных антенн характеризует коэффициент использования, а свойства паразитных щелевых и штыревых антенн – эффективная длина. Анализ расчетных соотношений показывает, что прямоугольные отверстия и щели представляют собой наиболее опасные неоднородности, так как проникновение помех через них весьма значительно.

Помехи в паразитных антеннах представляют собой импульс поля или импульс напряжения, формы, повторяющей форму импульса источника некондуктивных помех. Амплитуда импульсов в антенне может быть вычислена по (6) и (7) с помощью указанных параметров антенны, которые определяются очень просто.

Имеется возможность косвенно оценить воздействие некондуктивных помех на рецепторы в аппаратуре МПЦ путем воздействия непосредственно на неоднородности экранов генераторами-имитаторами импульсных помех.

Таким образом, осуществленные исследования позволяют решить одну из задач, входящих в состав комплексной проблемы защиты МПЦ от импульсных некондуктивных помех природного, техногенного и преднамеренного происхождения – задачу анализа проникновения помех через неоднородности электромагнитных экранов. Этот анализ позволяет выбрать данные для математического и физического моделирования воздействия помех на аппаратуру МПЦ и, в последующем, для повышения ее помехозащищенности. С учетом обострившейся геополитической ситуации обеспечение помехозащищенности и функциональной безопасности систем железнодорожной автоматики и телемеханики становится актуальным и для Республики Беларусь и для других стран СНГ.

Автор считает своим долгом высказать искреннюю благодарность д. т. н., профессору К. А. Бочкову за постоянную помощь и поддержку в работе и д. т. н., профессору А. К. Головничу за полезные обсуждения, которые позволили сформулировать проблематику статьи.

Список литературы

1 Станционные системы автоматики и телемеханики / Вл. В. Сапожников [и др.]; под ред. Вл. В. Сапожникова. – М. : Транспорт, 1997. – 432 с.

2 **Бочков, К. А.** Микропроцессорные системы автоматики на железнодорожном транспорте / К. А. Бочков, А. Н. Коврига, С. Н. Харлап. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 254 с.

3 **Кравченко, В. И.** Радиоэлектронные средства и мощные электромагнитные помехи / В. И. Кравченко, Е. А. Болотов, Н. И. Летунова. – М. : Радио и связь, 1987. – 255 с.

4 **Гайнутдинов, Р. М.** Прогнозирование электромагнитной обстановки в здании при преднамеренном воздействии широкополосного электромагнитного импульса // Р. М. Гайнутдинов // Технологии ЭМС. – 2010. – № 3(34). – С. 53–63.

5 **Лавров, А. С.** Антенно-фидерные устройства / А. С. Лавров, Г. Б. Резников. – М. : Сов. радио, 1974. – 386 с.

6 **Драбкин, А. Л.** Антенно-фидерные устройства / А. Л. Драбкин, В. Л. Зуденко, А. Г. Кислов. – М. : Сов. радио, 1974. – 536 с.

7 **Аполлонский, С. М.** Расчеты электромагнитных полей / С. М. Аполлонский, А. Н. Горский. – М. : Маршрут, 2006. – 992 с.

8 **Кечиев, Л. Н.** Экранирование технических средств и экранирующие системы / Л. Н. Кечиев, Б. Б. Акбашев, В. В. Степанов. – М. : ООО «Группа ИДТ», 2010. – 470 с.

9 Конструкции СВЧ-устройств и экранов / А. М. Чернушенко [и др.]. – М. : Радио и связь, 1987. – 400 с.

10 **Никольский, В. В.** Теория электромагнитного поля / В. В. Никольский. – М. : Высш. шк. 1964. – 584 с.

11 **Фальковский, О. И.** Техническая электродинамика / О. И. Фальковский. – М. : Связь, 1978. – 432 с.

12 **Бочков, К. А.** Элементы моделирования электромагнитной совместимости устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / К. А. Бочков, Д. В. Комнатный. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 185 с.

13 **Хабигер, Э.** Электромагнитная совместимость. Основы ее применения в технике / Э. Хабигер. – М. : Энергоатомиздат, 1995. – 304 с.

14 **Фрадин, А. З.** Антенно-фидерные устройства / А. З. Фрадин. – М. : Связь, 1977. – 440 с.

Получено 20.09.2018

D. V. Komnatny. Exposure of non-conductive interferences on hardware components screen-cases of microprocessor interlocking control.

Structures of microprocessor interlocking control are considered and non-conductive electromagnetic interferences, which can exposure to distributed equipment of interlocking control in many points, are analyzed. It is shown, that in modern conditions it is necessary to take in to account destruction of interlock control by electromagnetic impulse of purpose action. The penetration of impulse non-conductive noise through microprocessor hardware components screen-case apertures is researched. Formulas for calculation of voltage and electric intensity of electromagnetic field, shaping in aperture during outside radiation, are obtained. The possibility of this field modeling by direct pulser-simulator exposure on aperture is substantiated.

УДК 629.7

В. Н. ГАЛУШКО, кандидат технических наук, А. В. ДРОБОВ, А. П. МУЗОК, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ

Рассмотрен разработанный программный комплекс повышения надежности систем электроснабжения железнодорожной отрасли за счет аналитического и имитационного моделирования.

Основными экономическими показателями при проектировании СЭС являются первоначальные (капитальные) вложения и ежегодные (текущие) расходы, основанные на методе срока окупаемости. К важным техническим показателям относятся надежность, удобство эксплуатации, долговечность сооружения, объем текущих и капитальных ремонтов, степень автоматизации и т. п. Экономические показатели во многих случаях являются решающими, однако при условии равноценности стоимостных показателей предпочтение следует отдать лучшему техническому решению.

При экономическом анализе надежности необходимо учитывать убытки (ущерб) от вероятного ежегодного перерыва электроснабжения потребителей, снижения качества напряжения. В связи с этим требуется прогнозировать убытки предприятий, обусловленных следующими причинами: недовыработкой продукции, вызывающей повышенный расход на ее компенсацию; брак продукции (частично или полностью); порчу оборудования (частично или полностью); расстройство технологического процесса; оплату простоя рабочим во время перерывов в электроснабжении.

Актуальность данного исследования нетяговых железнодорожных потребителей связана с большим физическим износом электропотребляющего оборудования. Более 25 % электрооборудования эксплуатируется свыше 20 лет, поэтому стоит задача повышения надежности СЭС путем модернизации и замены устаревшего оборудования (результаты энергетических обследований Барановичского вагонного депо и локомотивного депо г. Жлобина).

Надежность системы электроснабжения можно определить как способность этой системы и её отдельных элементов обеспечивать бесперебойное питание электроэнергией промышленное предприятие, не приводящее к срыву производства и авариям в электрической и технологической частях. Надежность характеризуется повреждаемостью оборудования, ожидаемой продолжительностью бесперебойной работы, длительностью перерыва питания электроэнергией, а также ущербом от перерыва питания и другими факторами.

Повреждаемость системы электроснабжения связана, в основном, с повреждаемостью электрооборудования из-за нарушения правильной его эксплуатации, некачественной ревизии и профилактики, ошибочных действий персонала, неблагоприятных условий окружающей среды.

С проблемой надежности в электроэнергетике связаны следующие практические задачи: статистическая оценка и анализ надежности действующего оборудования и установок; прогнозирование надежности оборудования и установок; нормирование уровня надежности; испытания на надежность; расчет и анализ надежности; оптимизация технических решений по обеспечению надежности при проектировании, создании и эксплуатации электротехнического оборудования, установок, систем; экономическая оценка надежности.

Теория надежности вводит в практику инженерного исследования количественные оценки, которые позволяют: устанавливать требования и нормативы надежности оборудования для установок и систем; сравнивать различные виды оборудования, установок и систем по их надежности; рассчитывать надежность установок по надежности их элементов; оптимизировать величину необходимого резерва и структуру технических объектов; выявлять наименее надежные элементы оборудования, установок и систем; оценивать сроки службы оборудования и установок.

Эксплуатация электрооборудования неизбежно сопряжена с постепенным его износом и, вследствие этого, с необходимостью его периодического ремонта. Для эффективного построения систем профилактических мероприятий, контроля, испытания, диагностики, текущих и капитальных ремонтов необходимо знание причин отказов электрооборудования. Нарастающая доля оборудования, исчерпавшего свой нормативный ресурс работы, в совокупности с негативными внешними воздействиями (перегрузки, перенапряжения, короткие замыкания и т.д.) способствует росту отказов. Необходимость прогнозирования разрушения элементов, оценка риска эксплуатации в условиях неполноты и неопределенности информации о качестве и состоянии оборудования являются постоянно действующими факторами.

В связи с этим повышение надежности электрооборудования за счет применение современного математического инструментария и оценки работоспособности СЭС с учетом изменяющихся условий эксплуатаций является актуальной задачей исследования. Для достижения цели исследования поставлены и решены следующие задачи:

– произведен анализ условий эксплуатации электрооборудования, применяемого на предприятиях железнодорожной отрасли, а также изучены существующие подходы к анализу надежности электрических элементов и систем;

– собраны и систематизированы в базу данных уже имеющиеся теоретические сведения о влиянии различных внешних и внутренних факторов на надежность электрических элементов и систем;

– по результатам накопленных сведений, а также по проводимым натурным экспериментам создана библиотека взаимосвязи различных влияющих факторов на

показатели надежности электрических элементов и систем, а также на потребление электрической энергии электрооборудованием;

– произведена формализация результатов исследований надежности электрических систем и потребления электрической энергии электрооборудованием;

– разработана аналитическая программа и имитационная модель моделирования параметров надежности;

– выполнена верификация и проверка адекватности программного инструментария.

Современная система электроснабжения промышленного предприятия должна удовлетворять следующим основным требованиям: экономичности; надежности; безопасности; удобству эксплуатации; обеспечению надлежащего качества электроэнергии (уровней напряжения, стабильности частоты сети и т.п.); необходимой гибкости, обеспечивающей возможность расширения при развитии предприятия.

Важные дополнительные требования к системам электроснабжения предъявляют: электроприемники с резкопеременной циклически повторяющейся ударной нагрузкой (мощные асинхронные двигатели, электрический обогрев); электроприемники непрерывного производства, требующие бесперебойности питания при всех режимах системы электроснабжения (автоматическая блокировка).

При реконструкции и проектировании системы электроснабжения учитывают многочисленные факторы: потребляемую мощность; категорию надежности питания отдельных электроприемников; графики и характер нагрузок крупных потребителей; размещение электрических нагрузок на генплане предприятия; число и мощность подстанций и других пунктов электропотребления; напряжение потребителей и ограничения токов КЗ; число, расположение, мощность, напряжение и другие параметры источников питания; требования энергетической системы; требования аварийного и послеаварийного режимов; степень загрязненности среды; условия выполнения простой и надежной релейной защиты, автоматики и телемеханики и др.

Оценивание надежности по результатам эксплуатации возможно при своевременном поступлении достоверной информации об отказах и соответствующей обработке ее специальной службой надежности.

Все данные заносят в документацию системы первичного учета отказов: журнал учета работы электрооборудования, карточку учета отказов, итоговый документ о наработке и отказах электроустановок (ЭУ). Информация о работе элементов ЭУ, получаемую от эксплуатационников, должна соответствовать требованиям достоверности и полноты. Достоверность информации достигается объективностью представленного материала и подготовленностью обслуживающего персонала. Под объективностью понимается своевременное заполнение карточек об отказах и журналов учета работы с точным указанием их причин, ошибок обслуживающего персонала либо конструктивных недоделок. Необъективность материала – результат либо халатности, некомпетентности обслуживающего персонала или просто субъективности оценки.

Полнота информации зависит от точного описания отказов и их причин, т.е. качества подготовки персонала и ясности инструкции по эксплуатации элементов ЭУ. Для решения тех или иных задач по программам повышения надежности требуется определенный объем сведений, в том числе данные о времени обнаружения отказа, внешнего поведения отказа, времени, затрачиваемом на отыскание и устранение причины отказа, о типе и характеристиках отказавшего элемента ЭУ, месте его в схеме и о времени наработки элемента до отказа.

На основании анализа надежности оборудования по данным эксплуатации разрабатывается перечень мероприятий, необходимых для исключения выявленных причин отказов.

Электроустановки, используемые для преобразования, передачи и распределения электроэнергии, подвергаются воздействию большого количества факторов, которые можно подразделить на четыре группы: воздействия окружающей среды, эксплуатационные, случайные, ошибки проектирования и монтажа.

К факторам окружающей среды, где функционируют элементы ЭУ, относятся интенсивность грозовой и ветровой деятельности, гололедные отложения, обложные дожди, мокрый снег, густой туман, изморозь, роса, солнечная радиация и другие.

Применительно к передаточным устройствам – воздушные линии всех классов напряжений – наиболее характерными факторами, способствующими их отказам, являются моросящий дождь, мокрый снег, густой туман, изморозь и роса, а у силовых трансформаторов, установленных на электроустановках открытого типа, к факторам окружающей среды относятся солнечная радиация, атмосферное давление, температура окружающей среды.

К эксплуатационным факторам относятся перегрузки элементов ЭУ, токи коротких замыканий, различные виды перенапряжений. Согласно правилам технической эксплуатации воздушные линии 10–35 кВ с изолированной нейтралью допускается эксплуатировать при наличии однофазного замыкания на землю, а длительность их устранения не нормируется. При таких условиях эксплуатации дуговые замыкания в разветвленных распределительных сетях являются основной причиной повреждения ослабленной изоляции. Для силовых трансформаторов наиболее чувствительными из эксплуатационных факторов являются их перегрузка, механические усилия на обмотках при сквозных токах коротких замыканий. Значительное место в эксплуатационных факторах занимает квалификация персонала.

Небольшую группу влияющих на показатели надежности электроустановок в эксплуатации составляют случайные факторы: наезд транспорта на опоры, обрыв провода и т.п. Целью исследования взаимодействия ЭУ с воздействующими факторами является разработка технических, организационных и экономических мероприятий, направленных на повышение надежности элементов ЭУ. Применительно к взаимодействию ЭУ с факторами окружающей среды региона необходимо выяснить характер и причины взаимного влияния, количественную и качественную оценки, рассмотреть поток отказов из-за воздействующих факторов с учетом пространства и времени.

Наибольшее число отказов – это обрыв проводов и кабелей в местах контакта. В таблице 1 представлены часто повторяющиеся отказы в оборудовании рассмотренных систем электроснабжения.

Таблица 1 – **Соотношение повреждений к общему числу неисправностей**

Основные неисправности	Количество неисправностей к общему числу отказов в системе, %
Воздушные линии	18,1
Кабельные линии	32,3
Трансформатор	5,3
Итого	55,7

Аналитическая программа анализа надежности. Одна из основных задач теории надежности – определение показателей надежности систем по известным значениям показателей надежности ее элементов. Для решения данной задачи нужно, прежде всего, формально описать условия работоспособности системы в зависимости от условий работоспособности ее элементов. Это можно сделать несколькими способами: словесным описанием; графически (например, с помощью структурной схемы надежности, дерева отказов или графа состояний); аналитически (с помощью, например, функций алгебры логики); имитационным моделированием объекта исследования.

Применение схемы с постоянным резервированием и АВР на секционном выключателе повышает бесперебойность электроснабжения потребителей. Кроме того, секционирование уменьшает вероятность полного погашения всех потребителей. При отсутствии секционирования отказ любого выключателя приводит к полному погашению секции и вместе с ней всех потребителей, а при наличии секционирования – к погашению только половины.

На стадии проектирования СЭС для обеспечения требуемой надежности приходится во многих случаях как минимум дублировать отдельные элементы и даже отдельные системы, т.е. использовать резервирование, которое характерно тем, что оно позволяет повысить надежность системы по сравнению с надежностью составляющих ее элементов. Повышение надежности отдельно взятых элементов требует больших материальных затрат. В этих условиях резервирование, например, за счет введения дополнительных элементов является эффективным средством обеспечения требуемой надежности систем. Если при последовательном соединении элементов общая надежность системы (т.е. вероятность безотказной работы) ниже надежности самого ненадежного элемента, то при резервировании общая надежность системы может быть выше надежности самого надежного элемента.

Для однолинейных схем железнодорожного электроснабжения, линий автоматической блокировки и продольного электроснабжения, сетей железнодорожных узлов дистанций электроснабжения, содержащих относительно небольшое число элементов (от 30 до 1000), реализована программа аналитического расчета, основанная на преобразовании последовательного и параллельного соединений элементов с различными интенсивностями отказов и времени восстановления. Пример реализации представлен на рисунке 1, а пример библиотеки данных о показателях надежности приведен в таблице 2.

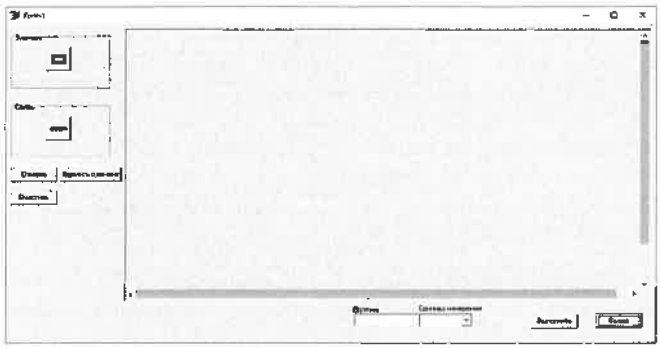


Рисунок 1 – Рабочее окно программы расчета параметров надежности

Для существующей и альтернативной схемы электроснабжения узла Гомельской дистанции электроснабжения на рисунке 2 представлены упрощенные схемы замещения с учетом расположения объектов в пространстве. При формировании альтернативной схемы электроснабжения использовался критерий минимума длины линий, так как это наиболее значимый фактор с точки зрения интенсивности отказов. Сравнительные результаты расчета приведены в таблице 3.

Таблица 2 – **Пример заполнения показателей надежности элементов трансформаторной подстанции**

Название элемента	λ, год$^{-1}$	$T_в$, ч	Источник данных
Трансформатор силовой	0,035	8	Показатели надежности схем городской электрической сети для питания потребителей второй и третьей категории. Репозиторий Белорусского национального технического университета [Электронный ресурс]
Кабельная линия на 1 км	0,1	25	
Разъединитель	0,08	4,5	
Сборная шина	0,09	2	
Выключатель масляный	0,015	9	
Выключатель вакуумный	0,004	8	
Предохранитель	0,02	2	
Выключатель нагрузки	0,01	12	*Галушко, В. Н.* Надежность электроустановок и энергетических систем : учеб.-метод. пособие / В. Н. Галушко, С. Г. Додолев. – Гомель : БелГУТ, 2014. – 154 с.
Трансформатор тока	$3{,}3\cdot10^{-6}$	3	
Трансформатор напряжения	0,0072	3	

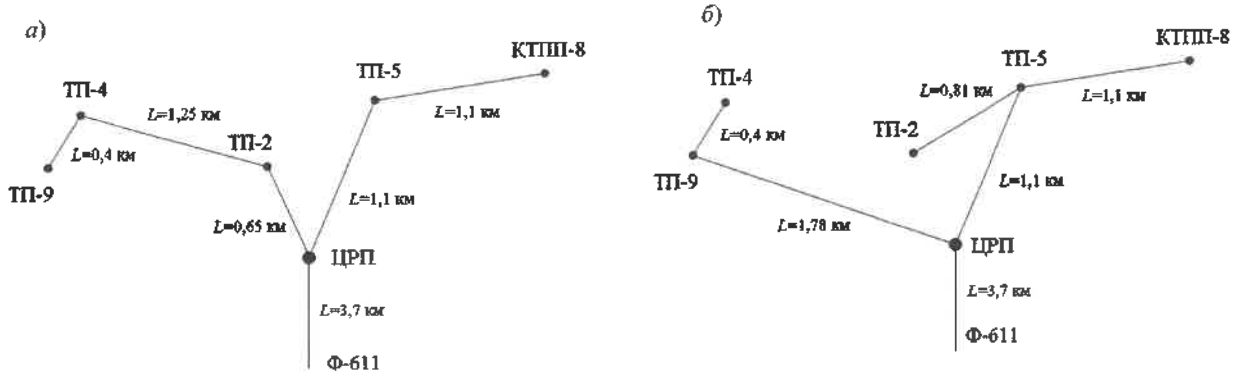


Рисунок 2 – Упрощенные схемы замещения: исходная (*а*) и предлагаемая (*б*)

Таблица 3 – **Показатели расчета схемы электроснабжения**

Параметр	Исходная схема	Альтернативная схема
Средняя интенсивность отказов, год$^{-1}$	1,706	1,596
Среднее вероятное время восстановления, ч	16,539	16,435
Вероятность безотказной работы в год, %	18,200	20,300

Имитационная модель анализа надежности. Имитационное моделирование (ИМ) – метод научного исследования систем, для которого характерно воспроизведение процессов функционирования элементов системы с сохранением их алгоритмов, причинно-следственных связей, последовательности протекания и вероятностного характера. Так, в процессе имитации с помощью генератора случайных чисел разыгрываются моменты наступления и виды отказов некоторых элементов и проверяются условия работоспособности системы в этот момент. Если существующие отказы элементов не нарушают условий работоспособности системы, то разыгрываются очередные отказы. Наряду с моделированием отказов имитируются процессы восстановления отказавших элементов. В процессе имитации отслеживаются и фиксируются определенные события и состояния системы (наработка до отказа, продолжительность восстановления и др.), по которым оцениваются показатели надежности системы.

При создании ИМ могут быть учтены: структура исследуемой системы и возможности её модификации; различные режимы функционирования системы и их характеристики; условия, накладываемые на зависимость отказов элементов.

В ИМ могут быть реализованы произвольные вероятностные закономерности надежностных свойств элементов и воздействий на систему. Поэтому стандарты [1] определяют имитационное моделирование в качестве наиболее универсального метода исследования надежности систем.

Другими достоинствами ИМ является возможность [2, 3] рассматривать различные варианты системы, отвечающие разным сторонам функционирования и возможным структурным преобразованиям; имитировать большое число отказов аппаратных и программных средств, что практически неосуществимо при натурных испытаниях; оценивать значения всех необходимых количественных показателей надежности; создавать во время испытаний всё множество технологических ситуаций; проводить испытания модели системы в ускоренном или замедленном машинном времени; использовать ИМ в качестве тренажера для отработки навыков принятия технических и управленческих решений.

Метод ИМ заключается в создании логико-аналитической (математической модели системы и внешних воздействий) имитации функционирования системы, т.е. в определении временных изменений состояния системы под влиянием внешних воздействий и в поучении выборок значений выходных параметров, по которым определяются их основные вероятностные характеристики.

Использование ИМ для расчёта надёжности сложных технических систем основано на том, что процесс их функционирования представляется математической вероятностной моделью, отражающей в реальном масштабе времени все события (отказы, восстановления), происходящие в системе. С помощью такой модели программными средствами многократно моделируется процесс функционирования системы, и по полученным результатам определяются искомые статистические характеристики этого процесса, являющиеся показателями надёжности.

Применение методов имитационного моделирования позволяет учитывать зависимые отказы, произвольные законы распределения случайных величин и другие факторы, влияющие на надёжность. Однако эти методы, как и любые другие численные методы, дают лишь частное решение поставленной задачи, соответствующее конкретным (частным) исходным данным, не позволяя получить показатели надёжности в функции времени. Поэтому для проведения всестороннего анализа надёжности приходится многократно моделировать процесс функционирования системы с разными исходными данными. В нашем случае это прежде всего различная структура электрической системы, различные значения вероятностей отказа и длительностей безотказной работы, которые могут изменяться в процессе эксплуатации системы, и другие показатели функционирования.

Этап анализа результатов модельных экспериментов на имитационной модели СЭС при анализе различных альтернативных вариантов электроснабжения реализуется последовательностью шагов: оценка надежности всей системы и каждого потребителя в отдельности с помощью

множества откликов при изменении параметров процесса; выбор рационального варианта организации СЭС с точки зрения надежности; поиск «узких» мест в СЭС.

В качестве входных данных задаются названия элементов СЭС и их параметры надежности, количество проводимых автоматически модельных экспериментов.

В качестве откликов ИМ использовались вероятности безотказной работы: для каждого источника и потребителя; всех источников; всех потребителей; всей системы с учетом важности влияния каждого из элементов СЭС за счет весовых коэффициентов.

По вектору интегральных откликов определяется значение обобщенного показателя надежности, вычисляемое по способу весовых коэффициентов или усредненное значение для всей СЭС.

При поиске «узких мест» рассматривались два уровня СЭС различных вариантов организации СЭС – источники и потребители. В качестве источника информации может быть Комплекс автоматизированного диспетчерского управления (рисунок 3) и другие программы, использующиеся для анализа текущего электроснабжения.

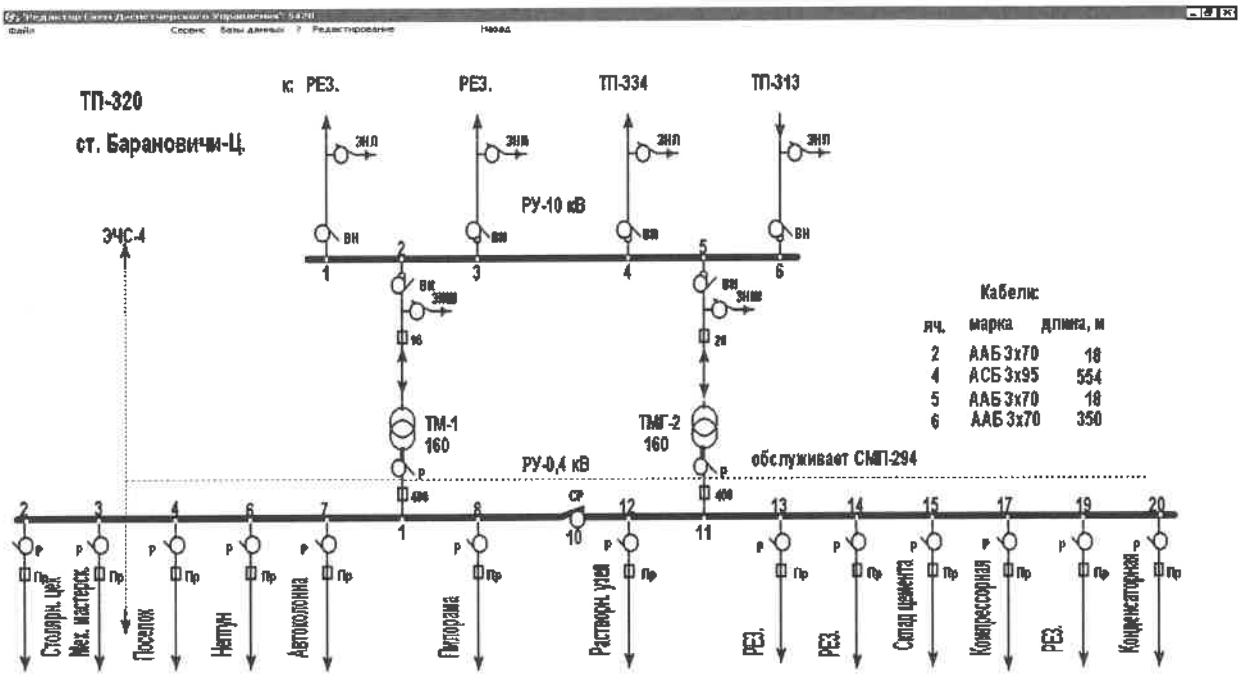


Рисунок 3 – Пример комплекса автоматизированного диспетчерского управления

Рассмотрим формальное описание ИМ. После заполнения ячеек матрицы для каждого элемента ее содержимого, характеризующегося определенной вероятностью безотказной работы, с помощью генераторов псевдослучайных чисел на каждый элемент разыгрывается случайное число, определяющее его состояние. После розыгрыша каждый элемент схемы (системы) принимает одно из двух логических значений, а именно исправен ($a_i = 1$) или неисправен ($a_i = 0$). Таким образом,

$$a_i = \begin{cases} 0, \text{ если значение розыгрыша } \geq p_{iн}; \\ 1, \text{ если значение розыгрыша } < p_{iн}, \end{cases}$$

где $p_{iн}$ – нормативная вероятность безотказной работы i-го элемента.

Любой i-й элемент системы может принадлежать нескольким j-м путям и занимать в них одно l-е место. Тогда логическое состояние j-го пути определяется как

$$T_j = \bigwedge_{l=1}^{K_j} a_{j,l},$$

где K_j – количество элементов в j-м пути; $a_{j,l}$ – логическое состояние l-го элемента в j-м пути.

Эта формула представляет собой перемножение логических состояний элементов, входящих в путь, и означает, что j-й путь исправен только тогда, когда работоспособны все элементы, принадлежащие пути.

Логическое состояние всей системы R в s-м розыгрыше будет представлять собой сумму логических состояний минимальных путей

$$R_s = \bigwedge_{j=1}^{M} T_j,$$

где M – максимальное число минимальных путей для выбранной схемы; T_j – логическое состояние j-го минимального пути.

Это означает, что если исправен хотя бы один путь, то работоспособна система в целом.

Полученные для каждого розыгрыша результаты, позволяют определить вероятность безотказной работы системы для определенного промежутка времени

$$\lambda_P = \sum_{s=1}^{N} R_s / N,$$

где D – число произведенных розыгрышей; s – номер розыгрыша.

Для реализации имитационной модели с помощью ПТКИ использовался язык программирования *Java* (рисунок 4).

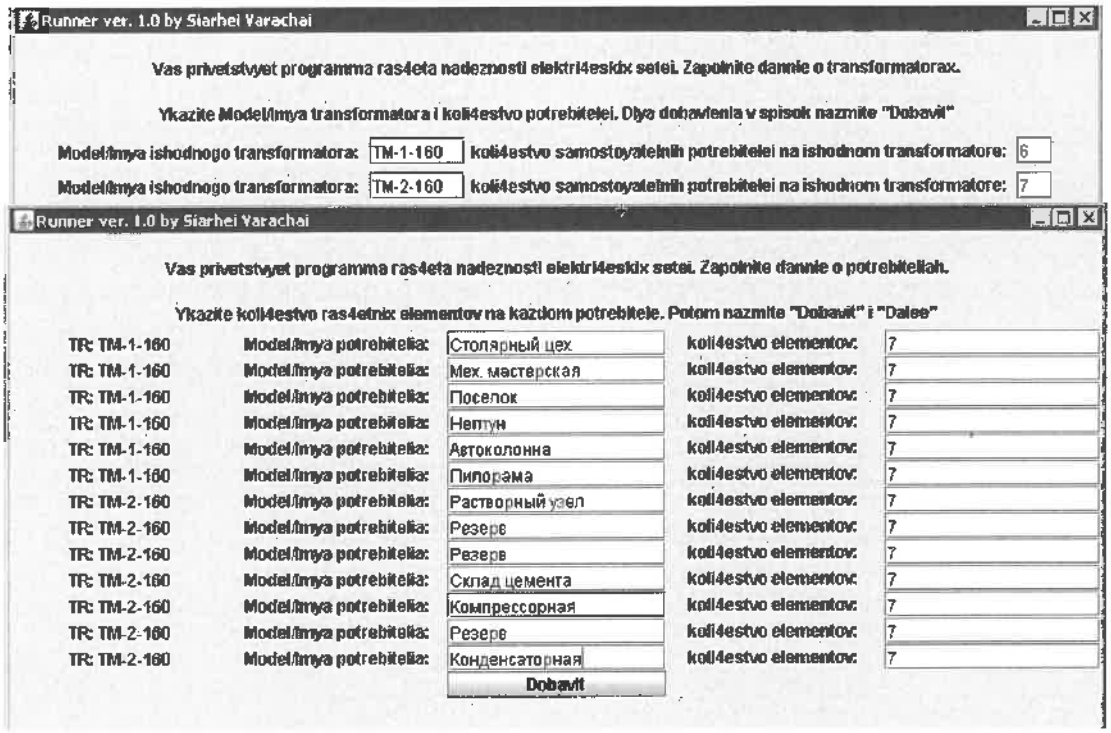


Рисунок 4 – Пример этапов реализации имитационной модели СЭС

Основные допущения при имитационном моделировании: перерывы электроснабжения, ликвидируемые работой автоматики (АПВ, АВР), не учитываются. Устройства релейной защиты считаются действующими безотказно; расчетные схемы для всех видов отключений составляются отдельно для каждого потребителя или (и) групп потребителей.

Перечислим основные пути повышения надежности систем электроснабжения.

1 Рациональное резервирование:

– в цеховых сетях по высокому (ВН) или низкому (НН) напряжению в трансформаторных подстанциях (ТП);

– за счет раздельной или параллельной работы линий, трансформаторов в зависимости от условий эксплуатации;

– за счет выбора числа независимых источников питания с учетом категории потребителей.

2 Использование перегрузочной способности элементов системы электроснабжения, что обеспечивает надежное питание потребителей при эксплуатации систем электроснабжения промышленных предприятий. Режимы перегрузки особенно важны при повреждениях или отключениях линий, трансформаторов, секций шин, отдельных аппаратов.

Исследования, проведенные различными организациями по допустимой перегрузке электрооборудования, показали следующее:

а) кратковременная (до 2–2,5 ч) перегрузочная способность выключателей ВН может быть принята равной 125 % номинальной;

б) для выключателей нагрузки (ВНП) допустимы такие же перегрузки, как для силовых масляных и сухих трансформаторов;

в) для проходных изоляторов, работающих в диапазоне температур от –50 до +60 °С, допустимая перегрузка составляет (0,85–1,73) $I_{ном}$;

г) перегрузка воздушных линий возможна практически всегда при сохранении нормального габарита до земли и составляет 30–35 %;

д) допустимая перегрузка кабельных линий напряжением до 10 кВ зависит от значения и длительности максимума нагрузки линии в нормальном режиме и от способа их прокладки.

3 Совершенствование технического обслуживания: оптимизация периодичности и глубины капитальных ремонтов, снижение продолжительности аварийных ремонтов.

4 Повышение качества ремонта оборудования, что увеличивает межремонтные сроки, снижает затраты труда и материальных средств. Такой ремонт должен производиться квалифицированным персоналом, хорошо знающим конструкцию оборудования, современную технологию ремонта, а также обладающим высокой профессиональной подготовкой и практическими навыками.

5 Применение, правильный выбор и компоновка современного оборудования. Выбранное оборудование должно быть устойчиво к действиям токов КЗ. Что касается компоновки, то при особенно высоких требованиях к надежности электроснабжения секции РУ располагают в разных помещениях.

6 Внедрение автоматизации и телемеханизации, что позволяет повысить безопасность обслуживания, эффективность управления объектами электроснабжения и избежать ошибочных действий персонала.

7 Повышение надежности релейной защиты и автоматики за счет применения микропроцессорной элементной базы, правильной эксплуатации и технического обслуживания.

При применении микропроцессорных устройств РЗ в системах электроснабжения наравне с релейно-контактными устройствами особое внимание необходимо обращать на готовность этой системы по обеспечению электромагнитной совместимости.

При эксплуатации газовой защиты трансформаторов возможна ее ложная работа, которая может иметь место при попадании воздуха в бак трансформатора (при доливке масла, после ремонта системы охлаждения).

При применении интегральной и цифровой защит необходимо строго выполнять указания по ее эксплуатации. Так, например, если не применять специальных мер (экранирование и пр.), то возникающие по разным причинам помехи могут вызвать ложное срабатывание защиты.

8 Выбор наиболее целесообразного времени вывода оборудования в ремонт, а именно совмещение ППР электрооборудования с ППР технологического оборудования, заблаговременный перевод электроснабжения на временное питание от резервных источников и др. Например, плановый ремонт одного из двух трансформаторов двухтрансформаторной ТП целесообразнее проводить в период работы со сниженной нагрузкой.

9 Уменьшение числа трансформаций, где это возможно, и в первую очередь трансформаций 10/6 кВ, что повышает также экономичность системы электроснабжения за счет уменьшения потерь электроэнергии.

10 Применение самозапуска ответственных двигателей (АД и СД). Самозапуск необходим для обеспечения устойчивости технологических процессов непрерывных производств при КЗ, отключениях выключателя в цепи питания узла нагрузки и т.д. Самозапуск возникает после кратковременного перерыва и автоматического восстановления электроснабжения. Двигатели, участвующие в самозапуске, при кратковременных перерывах электроснабжения от сети не отключаются.

11 Обеспечение пожарной безопасности электротехнических сооружений (подстанций, кабельных туннелей и др.), внедрение устройств телесигнализации и локализации пожаров.

12 Использование гарантированных источников питания (дизель-генераторов, аккумуляторных батарей и т.п.).

13 Внедрение ремонтов под напряжением.

14 Снижение насыщения сетей автоматической коммутационной аппаратурой, так как сами аппараты могут быть источником аварий.

15 Компенсация реактивной мощности. За счет данного мероприятия по НН можно разгрузить цеховой трансформатор ТП и при росте нагрузки загрузить его дополнительно активной мощностью.

16 Повышение статической и динамической устойчивости системы электроснабжения. Наиболее приемлемым средством достижения этой цели является уменьшение времени действия устройств РЗ.

17 Повышение качества электроэнергии. Снижения несимметрии напряжений можно достичь, как показывает опыт эксплуатации систем электроснабжения, в основном двумя путями:

– рациональным пофазным распределением однофазных нагрузок;

– применением симметрирующих устройств.

Для снижения несинусоидальности напряжений применяют следующие средства:

– раздельное питание приемников с нелинейной вольт-амперной характеристикой и обычных общепромышленных приемников, которое осуществляют от разных секций шин подстанций;

– увеличение числа фаз выпрямления; так, при переходе от 6-фазной схемы к 12-фазной выпрямления несинусоидальность напряжений сети уменьшается примерно в 1,4 раза;

– фильтры высших гармоник, которые могут одновременно использоваться для компенсации реактивной мощности.

18 Совершенствование конструкций и материалов, из которых изготовляют электрооборудование для систем электроснабжения.

19 Повышение качества и уровня эксплуатации электрооборудования (правильное применение смазочных материалов, своевременная чистка светильников, правильная замена изношенных деталей и др.).

Практическое применение аналитической программы и имитационной модели электроснабжения заключается в определении наиболее надежных схем. Результаты исследования позволят: прогнозировать показатели надежности электрооборудования СЭС; установить «узкие места» в обеспечении надежности; разработать мероприятия по повышению эффективности функционирования электрооборудования.

Список литературы

1 **Жаднов, В. В.** Современные проблемы автоматизации расчетов надежности / В. В. Жаднов, И. В. Жаднов, С. Н. Полесский // Надежность. – 2007. – № 2 (21). – С. 3–12.

2 **Максимей, И. В.** Имитационное моделирование на ЭВМ / И. В. Максимей. – М. : Радио и связь, 1988. – 232 с.

3 Сертификация и доказательство безопасности систем железнодорожной автоматики / под ред. Вл. В. Сапожникова. – М. : Транспорт, 1997. – 288 с.

Получено 1.09.2017

V. N. Galushko, A. V. Drobov, A. P. Muzok. Program complex of system reliability analysis electric supply of railway industry.

The developed program complex of reliability increase of power supply systems of railway branch due to analytical and simulation modeling is considered.

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

УДК 625.7

Д. Ю. АЛЕКСАНДРОВ, старший преподаватель, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, А. В. ЖГУНЦОВА, инженер производственно-технического сектора автотранспортного коммунального унитарного предприятия «Механизированная уборка города», г. Минск

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНОЙ ОРГАНИЗАЦИЕЙ

Интенсивный прогресс сферы информационных технологий способствует развитию многих отраслей экономики Беларуси. Однако в дорожной отрасли практика применения различных программных продуктов и соответствующих им комплексов технических средств носит эпизодический характер. Решены задачи автоматизации процессов управления состоянием автомобильной дороги при зимнем содержании, функционируют информационно-справочные системы, позволяющие работать с широким перечнем нормативно-правовых актов, некоторыми трестами используются системы автоматического управления рабочими органами дорожно-строительных машин и пр. Автоматизация процессов управления дорожной организацией в целом является сложнейшей для участников этого процесса задачей, однако эффект от внедрения подобного рода систем может стать катализатором процесса резкого качественного и интенсивного развития дорожной отрасли.

Основные положения по разработке автоматизированных систем управления в дорожной отрасли и строительстве, изложенные в [1, 2], на сегодняшний день не утратили своего значения. Исходя из специфики деятельности дорожных организаций, оптимальная стратегия апробации автоматизированной системы управления дорожной организацией (АСУ ДО) подразумевает поэтапное её внедрение. На первом этапе АСУ ДО разрабатывается для дорожно-эксплуатационных управлений (включая линейные дорожные дистанции), на втором – дорожно-строительных трестов и их филиалов (дорожно-строительные управления, управления производственно-технологической комплектации и т. д.). Это объясняется закреплением за дорожно-эксплуатационными управлениями определенных участков автомобильных дорог, а значит, и наличием возможности достаточно точно определять производственные мощности в средне- и долгосрочной перспективах. Объемы работ для дорожно-строительных трестов формируются в зависимости от исхода подрядных торгов, который практически не поддается точному прогнозу.

Основными задачами дорожно-эксплуатационных управлений является выполнение работ по содержанию и текущем ремонту автомобильных дорог. Рассредоточенный фронт работ, существенная зависимость от климатических факторов, ограниченный объем прежде всего материальных ресурсов и другие многочисленные факторы вызывают необходимость в разработке и внедрении информационно-справочной системы с возможностью осуществлять некоторые управленческие воздействия. Основными задачами АСУ ДО на стадии полноценного функционирования в начальный период эксплуатации можно считать разработку динамических оперативных и перспективных планов работы, а также подготовку различных вариантов управляющих воздействий с оценкой последствий их реализации. По мере развития системы целесообразно полностью автоматизировать некоторые управленческие алгоритмы.

Ведущая роль в процессе разработки АСУ ДО отводится коллективу представителей дорожной организации, так как именно они представляют дорожно-эксплуатационное управление как систему, состоящую из взаимосвязанных элементов, определяют все элементы системы и устанавливают всю совокупность функциональных и синергетических связей. Уже на этом этапе выявляются дублирующие и избыточные связи, которые при их ликвидации позволяют несколько повысить производительность труда. При этом этот коллектив может быть представлен не только руководителями различных уровней, но и наиболее опытными специалистами. Целесообразно делегировать руководство процессом разработки АСУ ДО специалисту, способному всецело взглянуть на дорожную организацию и владеющему спецификой всего комплекса технологических операций и организационных взаимодействий. К сожалению, углубление специализации привело к тому, что такие специалисты на сегодняшний день встречаются очень редко.

В первом приближение АСУ ДО можно представить открытой системой, постоянно взаимодействующей с окружающей средой. Как и для любой другой системы, для АСУ ДО характерно наличие некоторых параметров, характеризующих состояние системы (рисунок 1). Параметры входа (X_i) определяют всю совокупность воздействий на систему, параметры состояния характеризуют состояние системы в определённые временные промежутки (Z_i), параметры выхода представляют собой результат преобразования всей управляющей информации (Y_i). Например, одним из основных параметров входа для АСУ ДО является объем финансирования.

Учитывая достаточно большое количество элементов АСУ ДО и многочисленные связи между этими элементами, целесообразно определить ряд подсистем, которые также можно рассматривать относительно независимыми системами. Для таких подсистем характерно наличие параметров входа (X_{ij}), состояния (Z_{ij}) и выхода (Y_{ij}). В структуре АСУ ДО можно выделить подсистемы управления:

1) транспортно-эксплуатационным состоянием автомобильной дороги (ТЭС АД);
2) технологическими процессами;
3) персоналом;

4) средствами механизации;
5) ресурсами (дорожно-строительными материалами).

Краткая характеристика подсистем представлена в таблице 1.

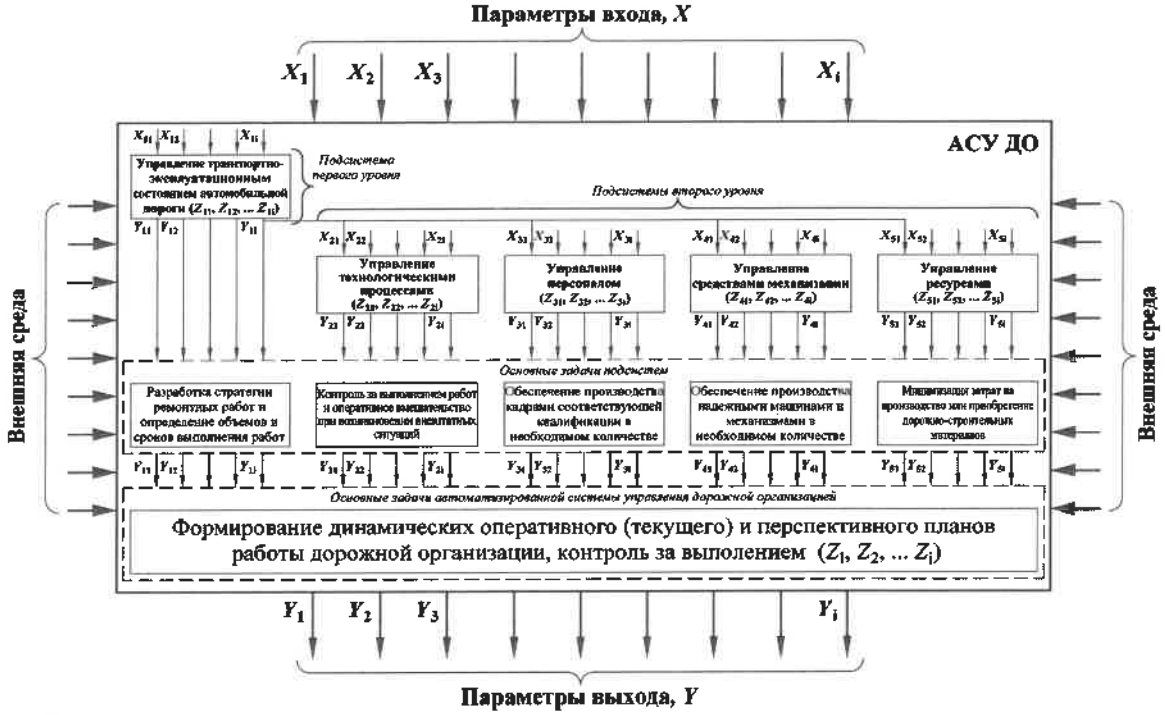


Рисунок 1 – Концептуальная схема автоматизированной системы управления дорожной организацией

Таблица 1 – **Краткая характеристика подсистем**

Наименование подсистемы	Краткая характеристика			
	Назначение	Основные сдерживающие факторы	Существующие аналоги	Недостатки существующего программного обеспечения
Управление транспортно-эксплуатационным состоянием автомобильной дороги	Прогнозирование развития основных дефектов дорожных одежд (выбоины, трещины, шелушение и т.д.). Прогнозирование изменения ровности, прочности, сцепления и колейности. Разработка наиболее эффективной последовательности работ по содержанию и текущему ремонту автомобильной дороги. Определение потребности в основных материально-технических ресурсах	Необходимость разработки прогнозных моделей развития дефектов (выбоины и некоторые виды трещин), применимых для условий Республики Беларусь. Зависимость интенсивности процесса развития дефектов от качества работ по строительству или ремонту автомобильной дороги, неподдающееся учету. Отсутствие четкого критерия эффективности при разработке стратегий ремонта (не только минимизация затрат на выполнение всего комплекса работ и обеспечение высокого уровня транспортно-эксплуатационного состояния, но и влияние этого комплекса работ на весь жизненный цикл автомобильной дороги)	Система управления транспортно-эксплуатационным состоянием дорог «Ремонт», программный продукт «Белмост», корпоративный банк данных параметров автомобильных дорог общего пользования [3]	Невозможность прогнозировать развитие многих дефектов (выбоины, трещины и пр.). Различия в качестве и объеме предоставления информации для магистральных, республиканских и местных дорог
Управление технологическими процессами	Контроль технологических процессов в реальном времени и управляющее воздействие при изменении внешних условий. Учет объёма выполненных работ в реальном времени. Оперативное перераспределение бригад по фронту работ и корректировка работы вспомогательных или иных подразделений в зависимости от складывающихся условий	Многие работы по содержанию автомобильных дорог выполняются преимущественно с использованием ручного труда или малых средств механизации, при этом фронт работ имеет большую протяженность, а сами работы характеризуются высокой подвижностью (такие виды работ достаточно сложно контролировать удаленно, возникает необходимость в разработке механизма сбора и передачи данных о таких работах с минимальной вовлеченностью человека в этот процесс)	Leica PowerGrade, PaveSmart 3D и др.	Высокая эффективность при выполнении работ с использованием основных дорожных машин. Отсутствие контроля за выполнением технологических операций с использованием преимущественно ручного труда. Высокая стоимость

Окончание таблицы 1

Наименование подсистемы	Краткая характеристика			
	Назначение	Основные сдерживающие факторы	Существующие аналоги	Недостатки существующего программного обеспечения
Управление персоналом	Повышение эффективности работы с кадрами в дорожной отрасли. Оптимизация процесса взаимодействия дорожных организаций с учреждениями образования	Необходимость формирования широкого перечня критериев, позволяющих всесторонне оценить качественный состав штата предприятия (необходимо учитывать как социальную составляющую кадровой политики, так и возможные проблемы в межличностных отношениях между сотрудниками)	НИИЭВМсервис, АСУ"Легион", Oracle Human Resources Analyzer и др.	Необходимость доработки программы под каждое конкретное предприятие. Высокая стоимость зарубежного программного обеспечения
Управление средствами механизации	Обеспечение производства надежными машинами и механизмами. Определение очерёдности замены и составление планов предупредительных ремонтов дорожно-строительных машин	Необходимость разработки методик определения надежности и остаточного ресурса не отдельных элементов дорожно-строительных машин, а единицы техники в целом с учетом его срока эксплуатации, условий работы, квалификации машинистов, предыдущих ремонтных мероприятий и пр.	–	–
Управление ресурсами (дорожно-строительными материалами)	Минимизация затрат на приобретение и доставку дорожно-строительных материалов. Анализ расхода и контроль движения ресурсов	Проблема оценки затрат в перспективе, связанная с необходимостью приобретения некоторых дорожно-строительных материалов за пределами Республики Беларусь	1С:Предприятие, "Галактика", "Парус", SAP, Microsoft Dynamics Axapta и др.	Необходимость доработки программы под каждое конкретное предприятие. Высокая стоимость зарубежного программного обеспечения

Перечисленные выше подсистемы необходимо ранжировать. В зависимости от совокупности прежде всего внешних условий как одна, так и несколько подсистем могут быть отнесены к подсистемам первого уровня. Например, при наличии благоприятного прогноза по финансированию деятельности ДЭУ только подсистему управления ТЭС АД целесообразно относить к подсистемам первого уровня. В таком случае некоторая часть параметров выхода будет являться параметрами входа для остальных подсистем.

Воздействие многочисленных факторов внешней среды оказывает существенное на АСУ ДО. Дорожная отрасль наиболее чувствительна к воздействию комплекса социально-экономических факторов. Например, негативные тенденции в экономике Беларуси, преобладавшие в 2011–2013 годах, существенно повлияли прежде всего на небольшие дорожно-строительные организации. Многие высококвалифицированные кадры в тот период предпочли сменить место работы. Вторым существенным внешним фактором является зависимость от различных метеорологических явлений. Указанные воздействия внешней среды достаточно трудно прогнозировать, что также к усложняет архитектуру АСУ ДО.

Полноценная АСУ ДО позволит формировать динамические вероятностные оперативный и перспективный планы работы с учетом наиболее и наименее благоприятных прогнозов и воздействия внешней среды, а значит, минимизировать риски и расходы как на содержание аппарата управления, так и на производство дорожных работ. Разработка АСУ ДО требует значительных материальных затрат, а также активизацию дорожной науки в области исследования и прогнозирования процессов разрушения автомобильных дорог в период эксплуатации.

Список литературы

1 **Томберг, К. И.** Управление производством на автодорожном и железнодорожном строительстве (включая АСУС): учеб. пособие / К. И. Томберг, О. К. Клещенко. – Гомель : БелГУТ, 2001. – 274 с.

2 Управление строительной организацией (включая АСУС) : учеб. для студ. вузов / Л. И. Абрамов [и др.]. – М. : Высш. шк., 1990 – 143 с.

3 Продукция и услуги управления информационных технологий // РУП «Белорусский дорожный инженерно-технический центр». – Режим доступа : http://beldor.centr.by/?page_id=489. – Дата доступа : 16.01.2018.

Получено 09.11.2018

D. Yu. Aleksandrov, A. V. Zhguntsova. The concept of the automated control system of a road organization.

The intensive development of information technology field contributes to the development of many sectors of the economics of Belarus. However, in the road sector, the practice of using the various software products and their corresponding hardware complexes is sporadic. The tasks of automated control systems of the road state during the winter maintenance have been solved, the information and reference systems are in operation, which allow working with a wide range of legal acts, some of the trusts use automatic control systems for the work tools of road construction machines, etc. The automation of the processes of a road organization control system in general is the most difficult task for the participants of this process, however the effect of the introduction of such systems can be catalyst of the process of sharp qualitative and intensive development of the road sector.

УДК 681.5

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

РАЗРАБОТКА НАПРАВЛЕНИЙ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ С ПРИМЕНЕНИЕМ СТАТИСТИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ РАЗЛИЧИЙ В ДВУХ ВЫБОРКАХ

В последние годы в Республике Беларусь наблюдается тенденция снижения числа погибших и раненых в дорожно-транспортных происшествиях. В то же время относительные показатели аварийности в Беларуси, такие как социальный риск, транспортный риск, по сравнению со странами Европейского союза, остаются на высоком уровне.

Следует отметить, что проблема аварийности на автомобильных дорогах признана на наднациональном уровне. На протяжении ряда лет Всемирной организацией здравоохранения ведется плодотворная и тяжелая работа по сбору, систематизации и обработке данных о состоянии аварийности в странах – членах Организации Объединенных Наций. Как один из результатов такой работы, в 2015 г. вышел очередной Глобальный отчет Организации Объединенных Наций о состоянии безопасности дорожного движения в мире. В отчете, наряду с прочей информацией, содержатся профили по безопасности дорожного движения 179 стран – членов Организации Объединенных Наций. Качественная и полная обработка такой статистической информации позволит выявить основные направления работы по повышению безопасности дорожного движения, в том числе и в Республике Беларусь.

В статье рассмотрены переменные профилей стран Глобального отчета Организации Объединенных Наций о состоянии безопасности дорожного движения в мире. При помощи *t*-критерия и его непараметрических аналогов, реализованных в программе Statistica, произведена оценка значимости влияния независимых категориальных переменных на показатели аварийности. На основании такой оценки предложены основные направления повышения безопасности дорожного движения в Республике Беларусь и произведена оценка эффективности такой работы.

Разработка мероприятий по повышению безопасности дорожного движения является сложной задачей. Одним из основных инструментов для ее успешного решения является качественный статистический анализ данных по уже случившимся дорожно-транспортным происшествиям. В таких исследованиях одним из основных факторов, определяющих их качество, является объем исходных данных. Глобальный отчет Организации Объединенных Наций о состоянии безопасности дорожного движения в мире содержит профили по безопасности дорожного движения 179 стран – членов Организации Объединенных Наций. Каждый профиль включает подробную информацию о показателях аварийности, институциональных особенностях, дорогах, транспортных средствах, законодательстве и т.д. Качественная и полная обработка такой статистической информации позволит выявить основные направления работы по повышению безопасности дорожного движения, в том числе и в Республике Беларусь.

В научной работе [1] была систематизирована информация Глобального ООН: описаны переменные этого отчета, даны им условные обозначения, установлены шкалы измерений, выделены зависимые и независимые переменные, проведены расчеты их описательных статистик и оценено состояние показателей аварийности в Республике Беларусь.

Для разработки мероприятий по повышению безопасности дорожного движения необходимо установить связи между зависимыми и независимыми переменными. В настоящей работе в качестве независимых выбраны категориальные переменные указанного отчета, имеющие два значения. Зависимые переменные представляют собой относительные показатели аварийности и взяты из того же документа. Перечень зависимых и независимых переменных приведен в таблице 1.

Таблица 1 – **Описание переменных о состоянии БДД, их условное обозначение и распределение по шкалам измерений**

Наименование группы параметров	Наименование переменной	Условное обозначение, размерность	Тип шкалы измерения
Независимые переменные			
Институциональные рамки	Наличие ведущего органа по БДД	Lb	Категориальная
	Наличие финансирования деятельности ведущего органа из бюджета страны	Lbf	
	Наличие национальной стратегии по безопасности дорожного движения	Ns	
	Наличие и значение целевых ориентиров стратегии по БДД*	Nst	
Дороги и мобильность	Наличие аудита проекта новых дорог	Arn	
	Наличие регулярного аудита действующих дорог	Ar	
Транспортные средства	Нличие стандартов по лобовому столкновению	Sfc	
	Требования к наличию систем управления устойчивостью	Sms	
	Требования по наличию систем защиты пешеходов	Pps	

Окончание таблицы 1

Наименование группы параметров	Наименование переменной	Условное обозначение, размерность	Тип шкалы измерения
Оказание медицинской помощи пострадавшим в ДТП	Наличие системы мониторинга травм на базе пунктов скорой помощи	Smi	Категориальная
Повышение безопасности участников дорожного движения	Возможность местных властей изменять максимальные значения скоростей	Slch	
	Наличие выборочного тестирования дыхания	T	
	Распространяется ли законодательство на водителей и пассажиров	Hmdp	
	Наличие законодательного требования застегивания ремня	B	
	Наличие утверждённых стандартов к шлемам	Hs	
	Распространяется ли законодательство о ремнях безопасности на лиц, занимающих передние и задние сиденья	Sbfr	
	Наличие национального закона об удерживающих устройствах для детей	Rc	
	Распространяется ли законодательство на детей, сидящих на передних сиденьях	Rcf	
	Запрещает ли закон пользование мобильным телефоном с помощью рук	Mh	
	Распространяется ли закон на мобильные телефоны, используемые без помощи рук	Mhw	
	Наличие национального законодательства по запрещению употребления наркотиков за рулем	D	
Зависимые переменные			
Данные о ДТП	Оценка потерь от ДТП	El, % от ВВП	Интервальная
	Социальный риск на 1 млн населения	Rs	
	Транспортный риск на 100 тыс. ТС	Rt	
	Социальный риск на 1 млн населения для водителей четырех колесных легковых автомобилей и легких грузовиков	Rsd4	
	Социальный риск на 1 млн населения для пассажиров четырех колесных легковых автомобилей и легких грузовиков	Rsp4	
	Социальный риск на 1 млн населения для водителей двух и трех колесных механических транспортных средств	Rsd23	
	Социальный риск на 1 млн населения для велосипедистов	Rsb	
	Социальный риск на 1 млн населения для пешеходов	Rsp	
	Социальный риск на 1 млн населения для прочих участников дорожного движения	Rso	
	Транспортный риск на 1 млн населения для водителей четырехколесных легковых автомобилей и легких грузовиков	Rtd4	
	Транспортный риск на 1 млн населения для пассажиров четырехколесных легковых автомобилей и легких грузовиков	Rtp4	
	Транспортный риск на 1 млн населения для водителей двух- и трехколесных механических транспортных средств	Rtd23	
	Транспортный риск на 1 млн населения для велосипедистов	Rtb	
	Транспортный риск на 1 млн населения для пешеходов	Rtp	
	Транспортный риск на 1 млн населения для прочих участников дорожного движения	Rto	

* Ввиду существенной разрозненности в значениях целевых ориентиров и способов их представления данный параметр оставлен только по показателю отсутствие/наличие целевого ориентира.

Все независимые переменные таблицы 1 имеют две категории, поскольку это является одним из условий применения t-критерия сравнения двух выборок. Также для применения t-критерия должны выполняться следующие условия:

1 Переменные внутри групп нормально распределены.

2 Дисперсии наблюдений в группах не слишком различны. Равенство дисперсий в двух группах проверялось с помощью F-критерия, критерия Левена и критерия Брауна – Форсайта.

На рисунке 1 приведен результат оценки нормальности распределения переменной El (оценка потерь от ДТП, % от ВВП) по категориям независимой переменной Lb (наличие ведущего органа по БДД).

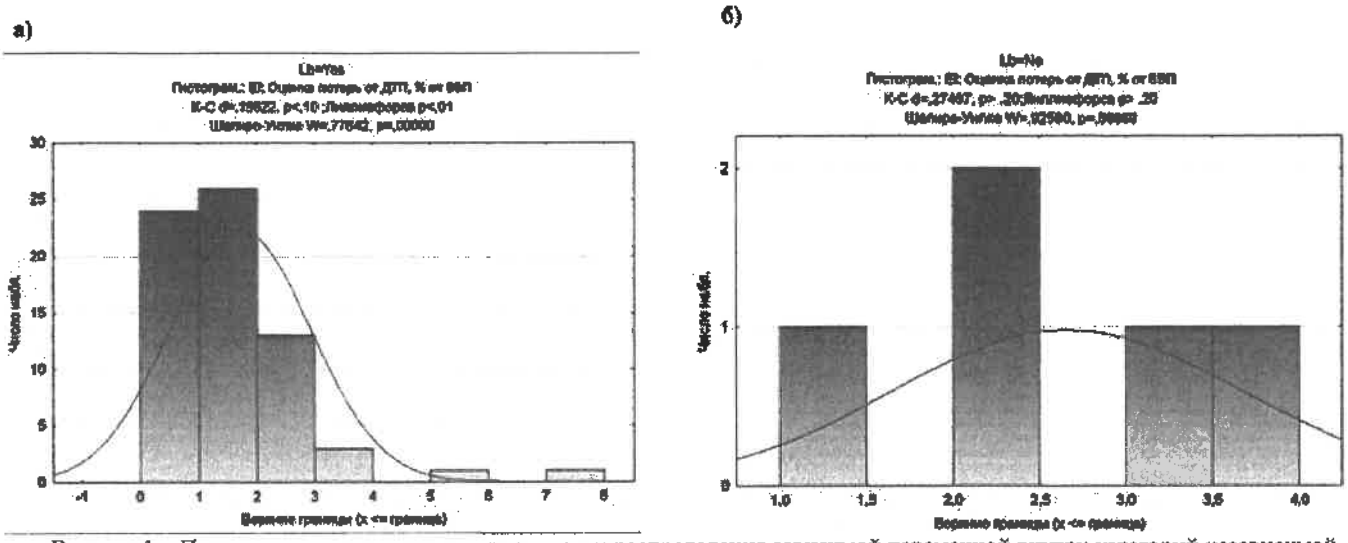


Рисунок 1 – Пример результата оценки нормальности распределения зависимой переменной внутри категорий независимой переменной:

а – диаграмма распределения переменной El (оценка потерь от ДТП, % от ВВП) по категории «Yes» независимой переменной Lb (наличие ведущего органа по БДД); *б* – диаграмма распределения переменной El (оценка потерь от ДТП, % от ВВП) по категории «No» независимой переменной Lb (наличие ведущего органа по БДД)

Проверка выполнения условий применимости *t*-критерия показала их невыполнение для всех пар зависимых и независимых переменных с двумя категориями, представленных в таблице 1. Это делает невозможным применение указанного критерия. В таких случаях следует применять непараметрические статистики. Непараметрическими альтернативами *t*-критерия являются: критерий серий Вальда – Вольфовица, *U*-критерий Манна – Уитни и двухвыборочный критерий Колмогорова – Смирнова.

Результаты оценки значимости различий переменной El (оценка потерь от ДТП, % от ВВП) по категориям независимой переменной Lb (наличие ведущего органа по БДД) с помощью приведенных выше непараметрических критериев представлена на рисунке 2.

а)

Критерий серий Вальда-Вольфовица (Профили стран)
По перем. Lb
Отмеченные критерии значимы на уровне p <,05000

Перем.	N Yes	N No	Среднее Yes	Среднее No	Z	p-уров.	Z скорр.	p-уров.	Число серий	Число сер.
El	68	5	1,722794	2,660000	0,660370	0,509017	0,178300	0,858488	11	5

б)

Критерий Колмогорова-Смирнова (Профили стран)
По перем. Lb
Отмеченные критерии значимы на уровне p <,05000

Перем.	Макс.отр. Разн.	Макс. по Разн.	p-уров.	Среднее Yes	Среднее No	Ст.откл. Yes	Ст.откл. No	N Yes	N No
El	-0,564706	0,029412	p > .10	1,722794	2,660000	1,216228	1,013903	68	5

в)

U критерий Манна-Уитни (Профили стран)
По перем. Lb
Отмеченные критерии значимы на уровне p <,05000

Перем.	Сум.ранг Yes	Сум.ранг No	U	Z	p-уров.	Z скорр.	p-уров.	N Yes	N No	2-х стор точное p
El	2412,500	288,5000	66,50000	-2,26035	0,023800	-2,27000	0,023208	68	5	0,020344

Рисунок 2 – Результат оценки значимости различий переменной El (оценка потерь от ДТП, % от ВВП) по категориям независимой переменной Lb (наличие ведущего органа по БДД):

а – по критерию серий Вальда – Вольфовица; *б* – по критерию Колмогорова – Смирнова; *в* – по *U*-критерию Манна – Уитни

Из рисунка 2 видно, что по *U*-критерию Манна – Уитни различия переменной El (оценка потерь от ДТП, % от ВВП) значимы по категориям переменной Lb (наличие ведущего органа по БДД). Соответствующая диаграмма размаха представлена на рисунке 3.

Из рисунка 3 видно, что в странах, в которых имеется

ведущий орган по безопасности дорожного движения, среднее число потерь от ДТП составляет 1,7228 % от ВВП, а в странах, где такого органа нет, – 2,66. Абсолютная разница составляет 0,9372 %, а относительная – 54,4 %. То есть можно утверждать, что в странах, где отсутствует ведущий орган по безопасности дорожного движения потери от ДТП, измеренные в процентах от ВВП, на 54,65 % больше, чем в странах, в которых такой орган имеется.

Аналогичные расчеты были проделаны для остальных пар зависимых и независимых переменных с двумя категориями (см. таблицу 1). Результаты таких расчетов для случаев, когда различия внутри групп оказались значимы, приведены в таблице 2. Для остальных пар зависимых и независимых переменных различия оказались незначимы.

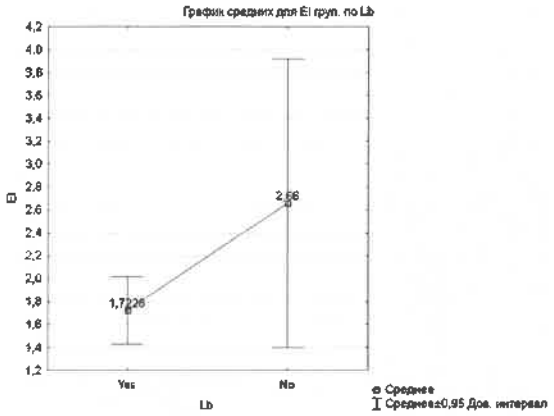


Рисунок 3 – Диаграмма размаха переменной El (оценка потерь от ДТП, % от ВВП) по группам переменной Lb (наличие ведущего органа по БДД)

Таблица 2 – **Результаты расчета значимости зависимых переменных по категориям независимых (фрагмент)**

Наименование переменной		Наименование критерия, по которому установлено наличие значимости различий	Среднее значение по категориям		Различия средних по категориям	
независимой	зависимой		«Yes»	«No»	абсолютное	относительное
Lb	El	*U*-критерию Манна – Уитни	1,72	2,66	0,94	54,65
Sfc	El	Критерий серий Вальда – Вольфовица, Колмогорова – Смирнова	1,45	2,18	0,73	50,34
Pps	El	Критерий серий Вальда – Вольфовица	1,72	1,84	0,12	6,98
Sfc	Rs	Критерий серий Вальда – Вольфовица, Колмогорова – Смирнова, *U*-критерий Манна – Уитни	68,59	104,41	35,82	52,22
Sms	Rs	Критерий серий Вальда – Вольфовица, Колмогорова – Смирнова, *U*-критерий Манна – Уитни	65,45	104,69	39,24	59,95
Pps	Rs	Критерий серий Вальда – Вольфовица, Колмогорова – Смирнова, *U*-критерий Манна – Уитни	69,56	102,74	33,18	47,7
Rc	Rs	Критерий серий Вальда – Вольфовица	89,02	101,13	12,11	13,6
D	Rs	Колмогорова – Смирнова, *U*-критерий Манна – Уитни	98,33	67,43	-30,9	-31,42
Slch	Rt	Критерий серий Вальда – Вольфовица	140,23	126,35	-13,88	-9,9
Rcf	Rt	Критерий Колмогорова – Смирнова, *U*-критерий Манна – Уитни	129,82	129,57	-0,25	-0,19
Mhw	Rt	*U*-критерий Манна – Уитни	114,16	152,06	37,9	33,2

Таблица 2 представляет собой инструмент расчета эффекта от реализации мероприятий по повышению безопасности дорожного движения. Для оценки эффективности совокупной реализации рассмотренных выше мероприятий по безопасности дорожного движения можно использовать выражение

$$P_{a2} = n_a(1-\Delta a), \qquad (1)$$

где P_{a2} – ожидаемый уровень аварийности после внедрения мероприятий; n_a – значение показателя аварийности до внедрения мероприятий; Δa – коэффициент снижения аварийности от внедряемого мероприятия.

При одновременном внедрении нескольких мероприятий коэффициент снижения аварийности рассчитывается по формуле

$$\Delta a = 1-(1-\Delta a_1)(1-\Delta a_2)..., \qquad (2)$$

где Δa_1, Δa_2 – коэффициенты снижения аварийности для данного мероприятия.

Так, например, из таблицы 2 видно, что на оценку потерь от ДТП (El, % от ВВП) значимо влияют наличие ведущего органа по БДД (Lb), наличие стандартов по лобовому столкновению (Sfc), требования по наличию систем защиты пешеходов (Pps). Если в стране эти мероприятия не реализованы, то их реализация позволит снизить оценку потерь от ДТП (El, % от ВВП). Для расчета эффективности реализации таких мероприятий можно использовать выражения (1) и (2). Так, из выражения (2)

$$\Delta a = 1-(1-0{,}55)(1-0{,}5)(1-0{,}07) = 0{,}021.$$

Тогда из выражения (1) ожидаемая оценка потерь от ДТП, при условии, что среднее ее значение составляет 1,5 % от ВВП [1, с. 36], будет El = 1,5 (1 – 0,021) = = 1,47 % от ВВП.

Также из таблицы 2 видно, что на значения общепринятых относительных показателей аварийности – социального и транспортного рисков (Rs, Rt) оказывают влияние соответственно:

– наличие стандартов по лобовому столкновению (Sfc), требования к наличию систем управления устойчивостью (Sms), требования по наличию систем защиты

пешеходов (Pps), наличие национального закона об удерживающих устройствах для детей (Rc), наличие национального законодательства по употреблению наркотиков за рулем (D);

– возможность местных властей изменять максимальные значения скоростей (Slch), распространяется ли законодательство на детей, сидящих на передних сидениях (Rcf), распространяется ли закон на мобильные телефоны, используемые без помощи рук (Mhw).

В Республике Беларусь ряд из перечисленных выше мероприятий уже реализован. Не реализованными остаются:

– влияющие на значение социального риска: наличие стандартов по лобовому столкновению (Sfc), требования к наличию систем управления устойчивостью (Sms), требования по наличию систем защиты пешеходов (Pps). Коэффициенты снижения аварийности для данных мероприятий (см. таблицу 2) составят соответственно 0,343; 0,375; 0,323;

– влияющие на значение транспортного риска: распространяется ли закон на мобильные телефоны, используемые без помощи рук (Mhw). Коэффициент снижения аварийности для данного мероприятия (см. таблицу 2) составит 0,249.

С учетом этого, а также зная фактические значения социального и транспортного рисков для Беларуси, равные соответственно 95,5 и 37,9, и используя выражения (1) и (2), можно определить расчетное значение показателей аварийности после реализации указанных мероприятий:

$$Rs = 95{,}5\,(1 - (1 - (1 - 0{,}343)(1 - 0{,}375)(1 - 0{,}323))) = 26{,}55;$$

$$Rt = 37{,}9\,(1 - 0{,}249) = 28{,}5.$$

Список литературы

1 **Аземша, С. А.** Расчет описательных статистик переменных глобального отчета ООН о состоянии безопасности дорожного движения в мире / С. А. Аземша, А. П. Цалко // Вестник Белорус. гос. ун-та трансп.: Наука и транспорт. – 2018. – № 1 (36). – С. 30–40.

2 GLOBAL STATUS REPORT ON ROAD SAFETY. [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа : http://www.ansr.pt/. – Дата доступа : 20.10.2018.

3 **Аземша, С. А.** Применение научных методов в повышении безопасности дорожного движения : [монография] / С. А. Аземша, А. Н. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ, 2017. – 191 с.

4 StatSoft, Inc. : Электронный учебник по статистике [Электронный ресурс]. – М. : StatSoft, 2012. – Режим доступа : http://www.statsoft.ru/home/textbook/ default.htm. – Дата доступа : 20.10.2018.

5 **Боровиков, В. И.** STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере / В. И. Боровиков. – СПб. : Питер, 2001. – 650 с. : ил.+ CD-ROM. – (Для профессионалов).

6 **Боровиков, В. П.** Популярное введение в современный анализ данных в системе. STATISTICA / В. П. Боровиков : учеб. пособие для вузов. – М. : Горячая линия. Телеком, 2013. – 288 с.

7 Statistica 13.3. Компьютерная программа. Серийный номер JRR709H998119TE-A.

Получено 28.10.2018

S. A. Azemsha. Development of directions for improving road safety in the Republic of Belarus by applying statistical criteria for estimating differences in two samples.

In recent years, there has been a tendency in the Republic of Belarus to reduce the number of deaths and injuries in road accidents. At the same time, the relative rates of accidents in Belarus, such as social risk, transport risk, remain at a high level in comparison with the countries of the European Union.

It should be noted that the problem of accidents on highways is recognized at the supranational level. Over the years, the World Health Organization has been carrying out fruitful and hard work on the collection, systematization and processing of data on the state of accidents in the member countries of the United Nations. As one of the results of this work in 2015, the next Global Report of the United Nations on the state of road safety in the world was published. The report, along with other information, contains road safety profiles of 179 member countries of the United Nations. Qualitative and complete processing of such statistical information will allow to identify the main directions of work to improve road safety, including in the Republic of Belarus.

In the article variables of the countries of the United Nations Global Report on the state of road safety in the world are considered. Using the t-test and its nonparametric analogs implemented in the Statistica program, an assessment was made of the significance of the influence of independent categorical variables on the accident rates. Based on this assessment, the main directions for improving road safety in the Republic of Belarus were proposed and the effectiveness of such work was assessed.

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 656:005.932

Т. В. ПИЛЬГУН, кандидат технических наук, Белорусский национальный технический университет, г. Минск,
Н. Н. КАЗАКОВ, кандидат технических наук, И. М. ЛИТВИНОВА, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ В ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКЕ

В настоящее время мировые транспортные системы развиваются с учетом концепции цифровой трансформации бизнес-процессов, что формирует интеллектуальную основу транспортных систем. Приводятся обоснования необходимости создания единого транспортно-технологического пространства, основой которого является цифровая модель сведений по логистическому движению ресурсов, необходимых и достаточных для использования любым участником транспортно-технологической схемы доставки грузов. Предложены проект взаимодействия участников схем доставки в единой транспортно-логистической цифровой системе и укрупненная методология развития механизма цифровой трансформации в транспортной логистике.

Стратегическое направление развития транспортной сферы имеет две составляющие. Одна характеризуется глобальностью транспортно-логистических процессов и наличием соответствующей национальной и транснациональной транспортной инфраструктуры и является основой успешного развития региона. Вторая составляющая логически связана с первой и строится на конкретных практических предложениях товаротранспортного рынка и решениях, реализуемых в государственных и региональных программах развития. Развитие транспортной сферы и ее составляющих в значительной степени зависят от экономических факторов, международной кооперации.

В настоящее время мировые транспортные системы развиваются в условиях цифровой трансформации бизнес-процессов, что формирует основу интеллектуализации транспортных систем [1].

В мировой экономической и информационной терминологии уже сформулирована сущность понятийного аппарата цифровой экономики. Так, суть понятия «цифровая трансформация экономики», заложенного в российской программе развития цифровой экономики, «заключается в принципиальном изменении основного источника добавленной стоимости и структуры экономики за счет формирования более эффективных экономических процессов, обеспеченных цифровыми инфраструктурами» [2].

Анализ множества источников по вопросам цифровизации позволяет сделать вывод, что цифровая экономика – это экономика инноваций, развивающаяся за счет эффективного развития принципиально новых *IT*-технологий. При этом необходимо обратить особое внимание на то, что термин «цифровая экономика» гораздо шире понятия «информатизация».

Информатизация процессов происходила в мире как сопутствующий и неизбежный процесс любому экономическому развитию. Информатизация в транспортном комплексе охватывает основные процессы и в достаточной степени эффективна: развиваются информационные и информационно-управляющие системы. Информационные системы на транспорте имеют как локальный характер, так и интегрируются посредством передачи данных или создания единой базы данных с соседствующими транспортными системами, развитие которых в достаточной степени управляемо. При формировании стратегий развития транспортных систем важно выделить ключевые направления и приоритетные проекты, которые будут способствовать формированию взаимосвязанной информационной среды с универсальными протоколами взаимодействия.

С учетом принципов логистики стихийность развития транспортных систем недопустима, процессы цифровой трансформации должны быть управляемы, что является основой их эффективности.

Европейским союзом проводится работа по интеграции национальных транспортных систем и формированию единого цифрового транспортно-технологического пространства, что весьма актуально для мультимодальных перевозок, которые в последние десятилетия получают активное развитие.

Основная цель развития европейской транспортной системы – снижение транспортной составляющей в цене товара, что становится определяющим элементом конкурентоспособности многих национальных экономик. Задача решается путём внедрения в европейской транспортной системе интеллектуальных решений на базе грузовых коридоров ЕС. Для каждого из этих коридоров созданы единые контактные центры (по принципу системы «единого окна»). В центрах осуществляется обработка запросов операторов по маршрутам, распределение пропускных способностей, а также информационно-аналитическое сопровождение по состоянию объектов и параметрам функционирования коридора. Правила функционирования коридоров устанавливаются на уровне ЕС, благодаря этому все грузовые коридоры будут иметь единое расписание и сквозную систему тарифов [3].

Важную роль в формировании интеллектуальной европейской транспортной системы в ЕС играет железнодорожный транспорт в силу наличия большей степени интеграции национальных железнодорожных систем в границах ЕС. Ключевым технологическим элементом в развитии железнодорожной сети Евросоюза является реализация методологии технологической совместимости ERTMS (European Railway Transport Mana-

gement System – Европейская система управления движением на железных дорогах). Эффективность работы европейской транспортной системы строится в большей степени на внедрении инновационной технологической базы, которая позволяет моделировать и получать качественные параметры схемы транспортировки партий грузов при различных вариантах сочетания видов транспорта и альтернативных маршрутов. Грузовладельцы будут получать возможность сравнения параметров вариантов мультимодальных перевозок в режиме on-line, что позволит сократить расходы на экспедиторские услуги, и в дальнейшем перейти на унифицированный договор перевозки, который предполагается заключать без участия экспедитора. При этом операторы разных видов транспорта будут нести перед грузовладельцем солидарную ответственность.

В деятельности ЕАЭС одним из приоритетов является транспортный комплекс и формирование единого цифрового транспортного пространства [1].

Анализ правовых основ формирования цифрового пространства транспортно-логистической деятельности в рамках формирования цифровой повестки ЕАЭС показывает, что необходимо решать ряд системных проблем [4]: отсутствие единой трактовки и понимания процессов взаимодействия на разных уровнях; несоответствие понятийного аппарата терминов и глоссариев; гармонизация нормативно-правовых актов разных национальных юрисдикций; обеспечение соответствия в уровнях инфраструктурной и технологической готовности по видам деятельности к интеграционным процессам в разных государствах-партнерах и ряд других.

Учитывая международный характер транспортного пространства, цифровая трансформация включает два блока интеграционного объединения:

– внутренний, формирующий внутринациональное цифровое транспортное пространство и интегрирующий в рамках одной страны участников транспортно-технологических схем движения ресурсов;

– внешний, построенный на цифровом межнациональном взаимодействии по вопросам логистического обеспечения движения ресурсов.

Одним из важнейших проектов, реализуемых как на внутреннем, так и на международном товаротранспортном рынке, является цифровая трансформация бизнес-процессов транспортной логистики.

Цифровизация транспортной логистики позволяет создать единую информационную среду: в процессе логистического движения ресурсов от производителя к потребителю обеспечивается интегрированное информационное взаимодействие значительного числа участников процесса. Помимо транспортных операторов и перевозчиков в предоставлении услуг на товаротранспортном рынке участвуют экспедиторы, агенты, брокеры, стивидорные, тальманские компании, сюрвейеры, органы местной власти, операторы складских сооружений и терминалов, органы контроля материальных и транспортных потоков на границе (таможенные, пограничные, ветеринарные, фитосанитарные) и многие другие. На рисунке 1 приведена условная схема перемещения груза от продавца к покупателю и взаимодействия в рамках мультимодальной доставки. В аналогичных схемах доставки могут также участвовать и другие виды транспорта: авиационный, речной, трубопроводный.

Рисунок 1 – Условная схема перемещения груза и взаимодействий при мультимодальной доставке груза:

⟶ – движение груза; ⟵ – ▸ – взаимодействие участников доставки

Практически все сведения о грузе представлены в транспортной накладной, которая подтверждает наличие договора перевозки и является основным транспортным документами на всех видах транспорта (CMR – на автотранспорте, CIM, СМГС – на железнодорожном транспорте, авиагрузовая накладная, коносамент или морская накладная, коносамент мультимодальной перевозки). В систему документации, используемую при международных транспортных операциях, кроме накладных входят документы: invoice, консульский invoice, упаковочный лист, отгрузочная спецификация, грузовой манифест, сертификаты о происхождении и другие необходимые сертификаты. В таблице 1 приведены основные транспортные и товаросопроводительные документы.

Все эти документы включают одинаковые данные: имена и адреса сторон по договору, описание груза с указанием кодов, количество грузовых мест, массы брутто и нетто, условия поставки INCOTERMS. Различие упаковочного листа и *invoice* только в том, что в *invoice* указывается цена. Эти документы порождаются и являются товаросопроводительной документацией в различных транспортных системах. Так, грузовой манифест появляется в системе авиа- и морских перевозок, упаковочный лист – на железнодорожном транспорте. При передаче груза от железнодорожного транспорта на

склад порта для дальнейшей морской перевозки оформляется отгрузочная спецификация, которая фактически имеет ту же информацию, что и упаковочный лист. Основными документами, оформляемыми при международных грузовых авиаперевозках, является авиагрузовая накладная и грузовой манифест. Авианакладная в отличие от накладных других видов транспорта удовлетворяет интересы всех участников авиаперевозки: выполняет роль контракта на перевозку, является документом для проведения взаиморасчетов, подтверждает факт приема груза, ответственность, страхование, является таможенным документом, инструкцией о загрузке, документом о доставке, включает всю информацию по грузу отправителям и получателям. Авианакладную дополняет только грузовой манифест, который заполняется отдельно для каждого промежуточного аэропорта, если это предусматривается авиаперевозкой.

Таблица 1 – **Основные транспортные и товаросопроводительные документы на видах транспорта**

Автомобильный	Железнодорожный	Морской
Автотранспортная накладная CMR	Железнодорожные накладные СМГС, CIM	Морская накладная, коносамент (линейный или чартер)
Счет-фактура (Invoice)	Счет-фактура (Invoice)	Счет-фактура (Invoice)
Упаковочный лист	Упаковочный лист	Упаковочный лист
Грузовой манифест (для сборных)	Сертификат происхождения	Отгрузочная спецификация
Сертификат качества и другие необходимые сертификаты	Сертификат качества и другие необходимые сертификаты	Сертификат качества и другие необходимые сертификаты
Сертификат происхождения	Таможенная декларация на товары	Сертификат происхождения
Таможенная декларация на товары		Грузовой манифест
		Таможенная декларация на товары

Помимо транспортных и товаросопроводительных документов используются и иные документы (экспедиторских, агентских, банковских, страховых компаний и т.д.), в которых одна информация представляется в разных формах и видах. Вероятность появления искажения информации при перевозке груза достаточно велика, что может приводить к корректировке данных и несоблюдению сроков доставки.

Каждый из участников мультимодальной перевозки использует сложившиеся информационные ресурсы, обеспечивающие установленный документооборот и формирование базы данных, необходимых для решения управленческих задач.

Слабым местом в процессе движения материального потока является недостаточность информационного обмена между участниками транспортно-логистических процессов доставки и отсутствие их координации в пунктах взаимодействия и на терминалах. Несвоевременное и непрогнозируемое получение достоверной и полной информации тем или иным участником логистической цепи приводит к замедлению принятия решений, к снижению эффективности и качества бизнес-процессов по доставке товара потребителю.

С экономической точки зрения эффективность транспортно-логистических схем доставки во многом зависит от транспортно-логистических издержек. Издержки эти включают не только затраты на управление транспортно-логистической системой, но и потери от недостаточного качества управления указанной системой [5].

Актуальность цифровой трансформации в системе транспортной логистики определяется следующими условиями: участники логистической цепи движения ресурсов в рамках одной транспортной системы имеют постоянное взаимодействие и общие цели (целевые показатели); применяются общие стандарты в цифровой сфере, в том числе межгосударственные; при международном взаимодействии в рамках одного вида транспорта применяют принципиально схожие информационные и информационно-управляющие технологии. Например, в системе железнодорожного транспорта исторически сложившееся единство транспортной сети и централизация управления способствовали в большей степени, чем в других транспортных системах, внедрению сетевых информационных технологий. Железнодорожный транспорт государств – участников Содружества железных дорог СНГ накопил большой опыт создания интегрированных многоуровневых автоматизированных систем по грузовым и пассажирским перевозкам. Разработанная система НПА с общими для всех железных дорог стандартами и типовыми технологическими процессами легла в основу цифровых систем, которые в настоящее время создаются железнодорожными администрациями государств. В результате многие системы соседних железнодорожных администраций схожи по функциональному составу (например, система САПОД – система автоматизации подготовки и оформления документов станционной и коммерческой отчетности, применяемая на Белорусской железной дороге и система ЭТРАН – электронная транспортная накладная, применяемая на ОАО «РЖД»).

Примером интеграции и единого цифрового пространства обслуживания пассажиров и управления пассажирскими перевозками может служить система «Экспресс», сфера функционирования которой охватывает большинство железных дорог СНГ и взаимодействует с системами резервирования мест Западной Европы.

Исходя из этого можно отметить, что железнодорожный транспорт имеет наиболее развитую инфраструктуру информатизации по сравнению с другими видами транспорта и может выступать интегратором информационного взаимодействия при перевозках.

В системе автомобильного транспорта в силу разобщенности автотранспортных предприятий, различающихся еще и формами собственности, единая информационная стратегия в международных перевозках не сформировалась.

Основное направление применения инновационных технологий в перевозках автомобильным транспортом – использование спутниковых навигационных систем,

отслеживающих местонахождение и параметры движения автотранспорта. Технологии мониторинга базируются на использовании спутниковых систем GPS и ГЛОНАСС.

В Республике Беларусь многие организации оказывают услуги слежения и мониторинга автотранспорта: УП «БелТрансСпутник», «Омникомм», ОАО «СКБ Камертон», ООО «Тестмастер», «Технотон», ЧТУП «Руптела» и другие. Практически все предприятия, занимающиеся международными перевозками, используют ту или иную спутниковую систему мониторинга, устраивающую конкретное предприятие. Основная цель их использования автотранспортными предприятиями – это получение актуальной информации о транспортном средстве и выполнении рейса, уменьшение себестоимости за счет контроля расхода топлива, непроизводительных простоев и отклонений от маршрута, повышение исполнительской дисциплины и др. В перечень выходной информации систем мониторинга входит в основном информация, касающаяся производственно-хозяйственной деятельности и которая более всего интересует автотранспортное предприятия.

Спутниковая навигация может использоваться и для отслеживания движения и состояния материальных потоков, если это заинтересует автотранспортные предприятия, которые в первую очередь позиционируют себя как перевозчики. Создание информационной базы перемещения грузопотока в логистических цепях доставки особенно важны для грузоотправителей, грузополучателей, предприятий, оказывающих экспедиторские услуги и взаимодействующих с контролирующими органами в рамках внешнеэкономической деятельности: таможенными, пограничными, ветеринарными и иными.

Электронный документооборот в системе автомобильных перевозок в настоящее время требует развития.

Современные глобальные тенденции цифровой трансформации в экономике должны способствовать развитию инициатив интеграции информационных систем в рамках единой транспортной системы, что особенно важно для участников мультимодальных перевозок. Положительным фактором для электронного обмена в рамках электронной декларации явилось создание в 2008 году и использование Национальной автоматизированной системы электронного декларирования (НАСЭД). По данным ГТК в первом полугодии 2018 года по результатам активной работы по развитию и совершенствованию системы электронного декларирования таможенными органами порядка 100 % экспортных и 99 % импортных поставок оформляются с применением электронной таможенной декларации [6].

Исследование сущности цифровой трансформации и проецирование ее на технологии транспортной логистики приводит к необходимости конструирования единого цифрового транспортно-технологического пространства за счет использования информационно-аналитических моделей интегрирующих товаро-транспортные процессы и объединяющих цифровые системы участников логистического перемещения грузов. Наибольший интерес и ожидание значительных эффектов такой интеграции должны иметь участники мультимодальной перевозки.

Создание единого транспортно-технологического пространства может повлечь коренное изменение традиционного документарного обеспечения перевозок. Анализ исследований по созданию единого цифрового транспортно-технологического пространства [7] показывает, что необходимо:

– создание цифровой модели сведений по логистическому движению ресурсов, необходимых и достаточных для использования любым участником транспортно-технологической схемы доставки грузов;

– развитие национальной, а затем и межнациональной нормативно-правовой базы для эффективного управления технологическими процессом на цифровой основе в транспортно-логистической системе.

На рисунке 2 представлен проект взаимодействия участников в единой цифровой транспортно-логистической системе, которая должна сформировать и поддерживать единое транспортно-технологическое пространство и объединять бизнес-процессы по принципу «одного окна». Вся информация по обеспечению доставки грузов, особенно в международном сообщении, должна находиться в портале «Центра компетенций» (условное название). Возможно, что в конечном итоге и оформление документов целесообразно будет осуществлять на базе портала.

Рисунок 2 – Проект взаимодействий в единой транспортно-логистической цифровой системе

Укрупненная методология развития механизма цифровой трансформации в транспортной логистике предусматривает:

– формирование концепции создания единого цифрового транспортно-технологического пространства;

– определение оператора цифровой платформы;

– анализ сложившихся у участников доставки цифровых технологий (информационных, информационно-управляющих, иных), используемых в бизнес-процессах, связанных с логистическим движением ресурсов;

– формирование базовой сети каналов коммуникаций по всем видам транспорта, задействованных в бизнес-процессах;

– формирование базовой сети посреднических услуг;

– формирование модели сведений по доставке;

– формирование информационной базы документарного обеспечения доставки.

Важная задача цифровизации во внутреннем блоке объединения – организация и использование цифровой платформы взаимодействия участников доставки товаров, которую необходимо определять в зависимости от множества технических, технологических, информационных и иных возможностей участников транспортного процесса [8].

Необходимо решить множество других задач, связанных с международной доставкой товаров потребителям. Создание единого цифрового транспортно-технологического пространства должно осуществляться корпоративным органом, который в дальнейшем на этапе постоянного его функционирования будет обеспечивать управление, контроль и анализ качества информационного обеспечения и определять процессы дальнейшего развития.

На начальном этапе формирования внутреннего блока интеграционного объединения требуется проработка методологических и нормативно-правовых основ по созданию единого цифрового транспортно-технологического пространства [9, 10]. Для этого необходимо провести следующую работу:

– исследовать документарное обеспечение доставки в пунктах взаимодействия транспортных систем при движении ресурсов с целью унификации и систематизации имеющихся документов;

– исследовать нормативно-правовую базу с целью ее адаптации к условиям работы в рамках единого цифрового транспортно-технологического пространства.

Внешнее интеграционное объединение предусматривается в рамках решений о реализации цифровой повестки Евразийского экономического союза до 2025 г.

Список литературы

1 **Казаков, Н. Н.** Модель реализации процедур инновационного развития региональной транспортной системы / Н. Н. Казаков // Экономическое развитие регионов и приграничных территорий Евразийского экономического союза (ЕАЭС): сб. науч. тр. – Брянск : БГТУ, 2017. – С. 29–34.

2 Программа развития цифровой экономики России [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://spkurdyumov.ru/digital_economy/razvitie-cifrovoj-ekonomiki-v-rossii-programma-do-2035-goda. – Дата доступа : 26.01.2018.

3 Стратегия Евросоюза в формировании клиентоориентированной логистики в транспортных коридорах на период до 2050 года [Электронный ресурс] Режим доступа : http://rly.su/uk/node/6884. – Дата доступа : 17.10.2018.

4 **Буконкин, Д. А.** Правовые и институциональные основы формирования единого цифрового пространства ЕАЭС / Д. А. Буконкин // Евразийский экономический союз: промежуточные итоги и перспективы развития интеграционного проекта : сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. / под ред. А. В. Русаковича. – Минск, 2017. – С.17–22.

5 История создания и внедрения системы НАСЭД [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.customs.gov.by/ru/history_nastd-ru/. – Дата доступа : 22.10.2018.

6 **Еловой, И. А.** Тарифное регулирование при доставке грузов в логистических цепях движения ресурсов (теория и методология расчетов) : [монография] / И. А. Еловой. – Гомель : БелГУТ, 2017. – 377 с.

7 Инновационные аспекты логистики внешнеэкономической деятельности. Идеология построения единой информационной среды [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://cyberleninka.ru/article/v/innovatsionnye-aspekty-logistiki-vneshneekonomicheskoy-deyatelnosti-ideologiya-postroeniya-edinoy-informatsionnoy-sredy. – Дата доступа : 22.10.2018.

8 Технология автоматизированного планирования и управления маршрутными перевозками / А. Ф. Бородин [и др.] // Железнодорожный транспорт. – 2018. – № 3. – С. 8–15.

9 **Лапидус, Б. М.** Влияние цифровизации и индустрии 4.0 на развитие экосистемы железнодорожного транспорта / Б. М. Лапидус // Железнодорожный транспорт. – 2018. – № 3. – С. 28–33.

10 **Ерофеев, А. А.** Интеллектуальное управление перевозочным процессом / А. А. Ерофеев // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 4. – С. 74–77.

Получено 23.10. 2018

T. V. Pilgun, N. N. Kazakov, I. M. Litvinova. Problems and prospects of digital transformation in transport logistics.

Currently, the world transport systems are being developed taking into account the concept of digital transformation of business processes, which forms the intellectual basis of transport systems. The creation of the common transport and technological space is grounded. The basis of this space is the digital model of data on logistic movement of the resources necessary and sufficient the usage by any participant of the transport and technological scheme of delivery of freights. The project of interaction of participants of delivery schemes in a single transport and logistics digital system and an integrated methodology for the development of the mechanism of digital transformation in transport logistics are given.

УДК 332.012 (330.342.4)

Н. Н. КАЗАКОВ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ВЫБОРА ВЕКТОРА РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

В настоящее время особой значимостью обладают методы применения инструментария научных исследований, позволяющие повысить детализацию эксплуатационно-экономических обоснований и обеспечить приемлемый уровень затрат, связанных с изысканиями. В статье приводятся модель обоснования процедур развития региональной транспортной системы и перечень ключевых показателей эффективности, которые целесообразно применять для воднотранспортной системы Республики Беларусь. Охарактеризована искусственная нейронная сеть, которая может быть применима для моделирования варианта развития воднотранспортной системы. Предложен вариант сочетания результатов имитационного моделирования и нейронной сети в обоснованиях варианта развития региональной транспортной системы.

Транспортная система, являясь инфраструктурной подсистемой экономики географического региона, объекты которой имеют длительный инвестиционный цикл, должна соответствовать и обеспечивать опережающие темпы его развития. При этом транспортную систему невозможно оперативно приспособить к меняющимся с течением времени условиям, что требует высокой точности обоснований ее параметров.

Традиционные модели эксплуатационно-экономических обоснований выбора вариантов развития транспортной системы региона базировались на расчетах мощности ресурсного входящего потока, который планировали для условий расчетного года перехода развиваемой системы в новое состояние. Однако принципы устойчивого развития регионов требуют иного подхода. Прежде всего это связано с тем, что за пределами расчетного срока, на который определяются потребность и структура подвижного состава, технологические параметры его работы, а также инфраструктурное обеспечение, требования к развиваемой транспортной системе со стороны экономики региона продолжают расти.

В условиях инновационного развития экономики и транспорта, как ее инфраструктурной отрасли, актуальным становится создание методологического аппарата, позволяющего осуществлять оптимизационные расчеты параметров развития региональной транспортной системы на верхних иерархических уровнях, т.е. там, где формируется инвестиционная политика развития экономики региона. Это обусловлено тем, что эффективность развития транспортной системы во многом определяется не техническими параметрами ее элементов (подвижного состава, инфраструктурных подсистем), а параметрами распределения входящего потока ресурсов, прежде всего финансовых.

Сказанное позволяет сделать вывод, что для обоснования варианта развития региональной транспортной системы необходима специальная постановка задачи, в которой каждое мероприятие развития рассматривается как элемент единой системы, а выбор оптимального варианта развития, относящегося к конкретному мероприятию, оценивается с позиций эффективности работы системы в целом и исходя из динамического изменения индексов опережающего развития в перспективе.

На рисунке 1 показана обобщенная модель обоснования процедур развития региональной транспортной системы, в которой предусмотрено распределение ресурсов, меняющих состояние развиваемой системы на двух уровнях: на уровне координатора инвестиций и на уровне некоторого вида транспорта. В современных условиях в качестве координатора инвестиций могут выступать профильные министерства, органы исполнительной власти регионов, советы директоров и собрания акционеров, внешние ведомства и другие инвесторы.

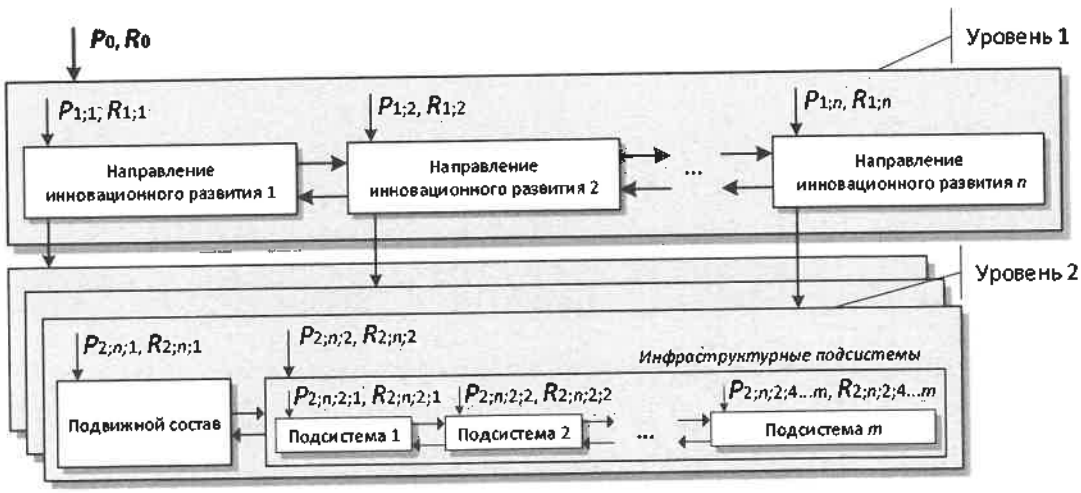


Рисунок 1 – Модель обоснования процедур развития региональной транспортной системы

На первом уровне модели решается задача определения требуемых ресурсов и общих пропорций их распределения между конкретными мероприятиями развития. Входной информацией для решения этой задачи является параметрическая оценка требуемого эффекта развития региональной транспортной системы P_0 и размер выделяемых для этого ресурсов R_0, которые определяются как результат решения задач более высокого уровня.

Между выделенными подсистемами (мероприятиями развития) существуют взаимосвязи (на рисунке 1 они обозначены горизонтальными линиями), которые проявляются в том, что увеличение мощности потока ресурсов в одной подсистеме позволяет уменьшить ее в другой, в зависимости от значимости реализации направления развития в конкретный промежуток времени [1].

На втором уровне в качестве входных потоков выступают требуемый эффект по конкретному направлению развития и ресурс, выделяемый в соответствующую подсистему транспортной системы (в рассматриваемом примере – подвижной состав и инфраструктурные подсистемы).

Такая постановка задачи формирует основу для реализации процедур инновационного развития транспортной системы региона с учетом динамики, а параметры требуемого эффекта могут быть отражены в ключевых показателях эффективности.

Для методического пояснения излагаемых принципов использования нейронных сетей в качестве инструмента обоснования процедур развития региональной транспортной системы в соответствии с представленной выше моделью (см. рисунок 1), дальнейшие материалы статьи будут отнесены к конкретному примеру в области научных интересов автора – воднотранспортной системе.

По результатам исследования воднотранспортной системы Республики Беларусь и с учетом задач ее развития до 2030 года, автором установлено, что в качестве ключевых показателей эффективности системы целесообразно использовать множество

$$\{P_{\text{ВВТ}}\} = \{p_{\text{в}}, \eta_G, \eta_{Gl}, r\}, \quad (1)$$

где $p_{\text{в}}$ – валовая производительность работы флота на перевозках, т·км/кВт·сут; η_G, η_{Gl} – доли участия внутреннего водного транспорта в транспортной деятельности страны, %; r – инвестиционный ресурс на реализацию варианта, млн USD.

Естественно, при совершенствовании методического аппарата и научного инструментария исследований перечень ключевых показателей эффективности может быть существенно расширен, исходя из направлений развития отрасли и их значимости для экономики страны.

В настоящее время в поддержке инновационных процедур развития экономики региона и ее подсистем резко возрастает роль максимальной интеграции научного сопровождения в жизненные циклы объектов, технологий и процедур, имеющих свою специфику. Практика научного сопровождения технологий, особенно традиционных, выработала богатую методологическую базу их оптимизации, определяемую этой спецификой. Поэтому часто при обеспечении взаимодействия инновационного сопровождения технологий различных жизненных циклов возникают проблемы.

Основной проблемой обеспечения такого взаимодействия является чрезмерная сложность исследуемой системы, которая должна включать в себя подсистемы, характеризующие различные жизненные циклы технологии или объекта. В результате, затраты ресурсного обеспечения процесса оптимизации моделирования с традиционной детализацией многократно возрастают.

Для оптимизации технологических решений в области исследования сложных производственных систем на протяжении десятков лет активно используются методы имитационного моделирования. Эти методы имеют свои достоинства и недостатки, которые определили эффективные сферы своего применения. Имитационные модели сложных систем требуют значительного ресурсного обеспечения, величина которых нелинейно возрастает с увеличением сложности системы (рисунок 2).

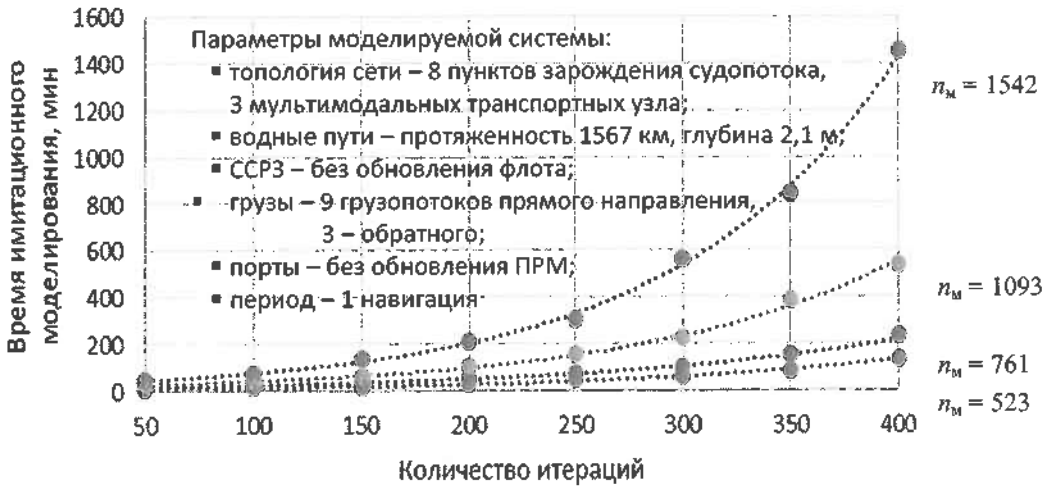


Рисунок 2 – Зависимость затрат времени от сложности моделируемой системы ($n_м$ – количество элементарных модулей)

С одной стороны, уровень развития информационных технологий и программного обеспечения, реализующего принципы имитационного моделирования, позволяет сегодня создавать модели очень высокой сложности. Но с другой стороны, оптимизация технологий, требующая интеграции на различных стадиях жизненного цикла, вариативность принятия решений по реализации технологии с позиции интересов различных координаторов инвестиций, участников технологического процесса, обеспечивают многократный рост сложности модели и требует совершенно иных затрат ресурсов.

Одним из способов реализации компромиссного подхода к решению данной проблемы является совмещение опыта применения методов имитационного моделирования, сформированного за многолетнюю практику и хорошо зарекомендовавшего себя при исследованиях поведения сложных систем, с возможностями современных тенденций применения искусственных нейронных сетей.

Исследования, выполненные автором в сфере его научных интересов [1, 2], направленные на развитие воднотранспортной системы Республики Беларусь с ее технологической спецификой и современным подходом к координации инвестиционных ресурсов, позволила сформировать модель и актуализировать ее для процедур инновационного развития отрасли [3]. Предложенная структура модели оптимизации позволяет использовать при математическом описании модульный принцип теории систем, получивший широкое распространение при имитационном моделировании.

Как показывают результаты имитационного моделирования системы организации перевозок внутренним водным транспортом Республики Беларусь до 2030 года, значения результирующего показателя в зависимости от принятого к рассмотрению варианта (экстенсивного или интенсивного) существенно отличаются, как и размеры требуемых инвестиционных ресурсов (таблица 1).

Таблица 1 – **Результаты имитационного моделирования ключевых показателей эффективности развития воднотранспортной системы Республики Беларусь до 2030 года**

Ключевой показатель эффективности		Значение показателя, достигаемое при реализации варианта развития	
		экстенсивного	интенсивного
Валовая производительность флота, т·км/кВт·сут		75,66	368,27
Доля водного транспорта в транспортной деятельности страны, %	в объеме перевозок	2,02	7,14
	в грузообороте	0,11	0,72
Размер инвестиций, млн USD		206,0	567,3

С позиции разработки эффективной модели развития воднотранспортной системы в долгосрочной перспективе ориентировать регулятора инвестиционных ресурсов на две столь различных стратегии является нецелесообразным. Поэтому для обеспечения требуемой для региона эффективности предлагаемой стратегии развития необходимо задавать не два значения, а их совокупность. В таких условиях высокой значимостью для снижения рисков искажения результатов оптимизации является применение искусственной нейронной сети.

Выбор данного метода, помимо прочих аспектов, послуживших широкому применению его в настоящее время, объясняется простотой адаптации структуры и принципов формирования имитационной модели, построенной по модульному принципу, к структуре нейронной сети. Помимо этого, нейронная сеть оптимально сочетает в себе такие характеристики, как быстродействие и высокая аппроксимирующая способность, позволяя оценивать влияние качественных и количественных параметров в динамике, что идеально сочетается с актуализацией методов оптимизации развития транспортных систем с процедурами инновационного развития.

Применение нейронной сети в составе методологии обеспечения эффективности перевозок водным транспортом Республики Беларусь базируется на следующих принципах:

1) факторы, используемые в качестве входных элементов нейросети, в составе единой методологии, однозначно коррелируются с результатами;

2) количество наблюдений за состоянием системы, получаемых на основании результатов имитационного моделирования группы мультимодальных грузовых линий, является более чем достаточным для обучения нейросети;

3) в качестве входных элементов нейросети предлагается использовать непараметрическую зависимость $S = f_1(s_1, s_2, s_3)$, где s_1, s_2, s_3 – переменные, характеризующие вариант развития, соответственно, путевой и портовой инфраструктуры, пополнения флота;

4) в качестве элементов ассоциативного слоя предлагается использовать ключевые показатели эффективности, полученные на основании имитационного моделирования работы групп мультимодальных грузовых линий: $A = f_2(p_в, \eta_G, \eta_{Gl}, r)$, где $p_в$ – валовая производительность работы флота на перевозках, т·км/кВт·сут; η_G, η_{Gl} – доли участия внутреннего водного транспорта в транспортной деятельности Республики Беларусь, %; r – инвестиционный ресурс, требуемый для реализации варианта, млн USD;

5) в качестве результирующего сумматора выступает показатель $P_{ВВТ}$, формируемый по принципу интегрального показателя качества реализации варианта развития;

6) веса (S–A)-связей могут иметь значения {-1; 0; +1}, (A–R)-связей – нормализованные параметры важности ключевого показателя эффективности w_i в диапазоне (0; 1].

Таким образом, моделируемая нейронная сеть, реализующая принципы оценки эффективности варианта развития воднотранспортной системы, принимает вид элементарного персептрона, представленного на рисунке 3.

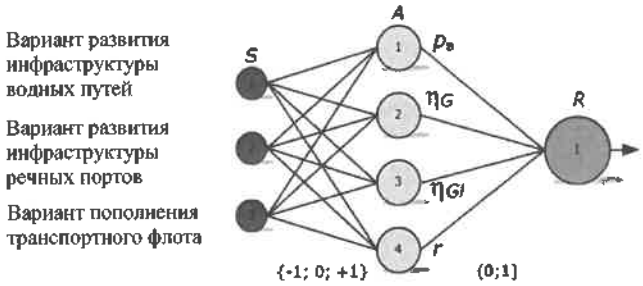


Рисунок 3 – Элементарный персептрон, моделирующий вариант развития воднотранспортной системы

Путем предоставления каждой модели значений факторов множества S из установленных выше диапазонов и обучения нейросети посредством результатов имитационного моделирования (множество A) могут быть получены прогнозные оценки результирующего интегрального показателя обеспечения эффектности перевозок внутренним водным транспортом Республики Беларусь для любого количества дополнительных вариантов.

Зависимость точности прогнозирования с применением нейронной сети относительно результатов имитационного моделирования представлена на рисунке 4.

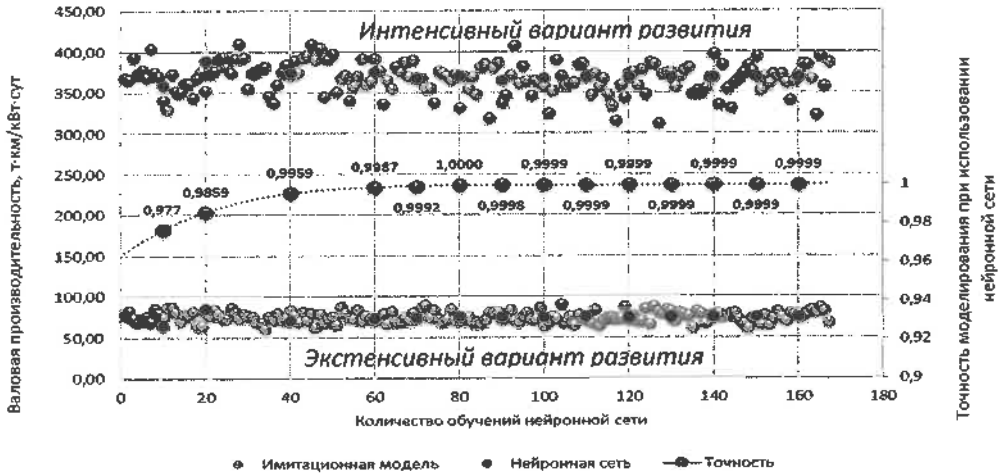


Рисунок 4 – Результаты применения нейронной сети, обученной по результатам имитационного моделирования

Следует отметить, что традиционно применяемые вероятностно-статистические методы прогнозирования результатов развития сложных технических систем в качестве исходных статистических данных на входе модели имеют точечные значения, что затрудняет их применение при оценке результата ввиду возможности появления произвольных неконтролируемых ошибок в динамике, выявляющихся в результате реализации стратегии развития региональной транспортной системы.

В этой связи применение охарактеризованного выше способа совмещения эффектов от традиционных и инновационных способов выполнения научных изысканий, минимизирующий затраты при приемлемой детализации результатов, позволяет реализовать принципы инновационного развития исследуемых систем на уровне их научного сопровождения.

При этом следует отметить, что способ комбинирования имитационной модели с нейронной сетью в составе инструментария прогнозирования развития воднотранспортной системы, предложенный автором, является компромиссным вариантом, имеющим целесообразность применения лишь на начальных этапах реализации инновационных процедур развития транспортного комплекса. На определенном этапе жизненного цикла инноваций в данной сфере гораздо более значимые результаты могут быть достигнуты при разработке более сложных нейронных сетей, включающих в свою структуру топологию конкретной имитационной модели и ключевые показатели эффективности. Такая модель может быть использована в качестве основы интеллектуальной системы управления развитием региона или подсистем его экономики, в частности транспортной системы [4].

Список литературы

1 **Казаков, Н. Н.** Перспективные направления развития Белорусского речного пароходства и приоритет их реализации / Н. Н. Казаков, Д. В. Юдин // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. – 2015. – № 2. – С. 28–31.

2 **Казаков, Н. Н.** Необходимые условия обеспечения инновационного развития внутреннего водного транспорта Республики Беларусь / Н. Н. Казаков // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. – 2015. – № 2. – С. 36–38.

3 **Казаков, Н. Н.** Модель реализации процедур инновационного развития региональной транспортной системы / Н. Н. Казаков // Экономическое развитие регионов и приграничных территорий Евразийского экономического союза (ЕАЭС) : сб. науч. тр. – Брянск : БГТУ, 2017. – С. 29–34.

4 **Ерофеев, А. А.** Интеллектуальное управление перевозочным процессом / А. А. Ерофеев // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 4. – С. 74–77.

Получено 23.10. 2018

N. N. Kazakov. Application of neural networks for the selection of the development vector regional transport system.

At present, the methods of applying research tools that make it possible to increase the detail of operational and economic studies and ensure an acceptable level of costs associated with research are of particular importance. The article presents a model for substantiating the procedures for the development of a regional transport system and a list of key performance indicators that are appropriate to apply for the water transport system of the Republic of Belarus. An artificial neural network has been characterized, which can be applied to simulate a variant of the development of a water-transport system. A variant of a combination of simulation results and a neural network in the justifications of the development of a regional transport system is proposed.

УДК 539.3

А. А. ПОДДУБНЫЙ, кандидат физико-математических наук, Белорусский государственный университет транспорта, В. А. ГОРДОН, доктор технических наук, Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева

ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНСТРУКТИВНО-НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Приведена краткая характеристика причин разрушения мостов и этапов их восстановления с учетом напряженно-деформированного состояния мостовых конструкций в нелинейной системе. Представлен анализ инженерных методик проектирования и расчета, учитывающие внезапные перестройки и повреждения конструктивных элементов мостовых конструкций.

Введение. Напряженно-деформированные состояния мостовых конструкций в нелинейной постановке задачи (учет нелинейных характеристик материала конструкции, геометрической нелинейности и т. п.) являются конструктивно-нелинейными, так как при их математической формализации используются неравенства и недифференцируемые функции. При этом в задачах конструктивной нелинейности изменение расчетной схемы осуществляется по мере деформирования конструкции, например, в момент достижения некоторой точкой конструкции определенной величины прогиба, когда возникает контакт этой точки с опорой.

Следует отметить, что материал мостовой конструкции подчиняется нелинейному закону деформирования, который может быть и несимметричным в связи с различными пределами сопротивления растяжению и сжатию. Помимо этого в геометрически нелинейных задачах отсутствует прямая пропорциональность между нагрузками и перемещениями, что на практике приводит к большим перемещениям при малых деформациях.

В связи с вышеизложеным повышение качества проектирования мостовых конструкций при рациональном использовании материальных ресурсов, а также обеспечении надежности и безопасности эксплуатируемых и реконструируемых мостов является одной из важнейших задач строительной механики.

Направления научных исследований. Согласно действующим нормам расчет мостовых элементов выполняется по предельным состояниям и ставит задачу исключить наступление предельных состояний конструкций. Однако практика возведения и эксплуатации различных объектов показывает, что и тогда, когда они запроектированы в соответствии с нормативными документами, возникают аварийные ситуации от воздействий, не предусмотренных проектом, квалифицируемых как запроектные.

Это связано, прежде всего, со значительным износом основных фондов, с ростом различного рода агрессивных воздействий техно- и антропогенного происхождения, включая террористические действия, с непродуманными и некачественно выполненными реконструкционными мероприятиями. Поэтому для сокращения числа запроектных аварийных ситуаций или снижения ущерба и жертв при их возникновении необходим анализ «чувствительности» проектируемых и эксплуатируемых мостовых конструкций к различным изменениям в их проектах, несовершенствам в изготовлении, вариациям внешних воздействий, структурным перестройкам под нагрузкой и другим факторам. Особенно опасными являются внезапно образующиеся повреждения, так как фактор мгновенности приводит статически нагруженную конструкцию в движение (колебания), в ходе которых перемещения, деформации и внутренние усилия могут превысить допустимые значения.

Важной проблемой механики является разработка и внедрение аналитических и численных методов, которые будут учитывать внезапные изменения расчетной схемы конструкции, описывать специфику и характеристики динамических процессов. В процессе возникающих изменений происходит перераспределение внутренних усилий и деформаций. Разработанные методики в ходе и результате процессов, связывали бы уровни динамических приращений напряжений и деформаций с уровнями конкретных запроектных воздействий типа выключения опорных связей, расслоений, трещинообразования, частичного разрушения, обрывов арматуры и т.д.

Разработка методов расчета, учитывающих влияние на напряженно-деформированное состояние и динамику конструкции внезапно образующихся дефектов, является насущной необходимостью для прогнозирования их поведения и оценки живучести, под которой подразумевается способность конструкции выполнять заданные функции в полном или ограниченном объеме при отказе одного или нескольких элементов системы. Пока изучению влияния на прочность, устойчивость внезапных эксплуатационных повреждений конструкций в научной литературе не уделяется должного внимания. Их решение открывает возможности построения теоретических основ безопасности и прогнозирования поведения конструкций, зданий и сооружений. Включение такого прогноза в качестве дополнения к основным положениям расчета несущих конструкций по предельным состояниям повысит безопасность проектируемых и реконструируемых мостов.

На сегодняшний день инженерные методики проектирования и расчета, учитывающие внезапные перестройки и повреждения конструктивных систем, малочисленны и далеки от совершенства. В работах Поддубного А. А. и Яровой А. В. рассмотрены деформирования трехслойного стержня, частично опертого на упругое основание [1–3]. Модель несимметричного по толщине упругого трехслойного стержня, частично опертого на упругое основание представлена на рисунке 1.

Разработанная математическая модель позволяет решать задачи деформирования ступенчато-перемен-

ных конструкций, опирающихся на основания разной жесткости.

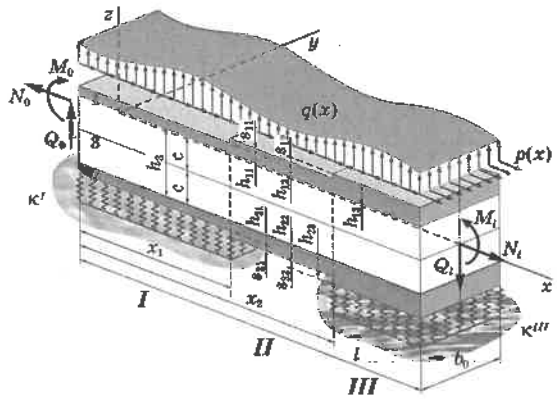


Рисунок 1 – Модель несимметричного по толщине упругого трехслойного стержня, частично опертого на упругое основание

В работах Гордона В. А. рассмотрены результаты моделирования переходных динамических процессов, возникающих в нагруженных балках и пластинах при внезапных повреждениях опорных связей, образованных поперечных и продольных трещин, расслоениях и отслоениях, частичных разрушениях, изменении условий опирания и сопряжения элементов конструкций [4–6]. Все указанные работы выполнены применительно к свободным, т. е. не поддерживаемых протяженными основаниями, балкам и пластинам.

Представляет теоретический интерес и практическую важность распространение аналогичных подходов к стержням и балкам на упругих основаниях.

В настоящее время методика анализа переходных динамических процессов, инициируемых внезапными эксплуатационными преобразованиями и повреждениями, составляющих системы «балка – основание», только разрабатывается. В известных работах рассматриваются задачи прочности и динамики таких систем с дефектами, образовавшимися квадратически, без возникновения инерционных сил. Внезапное образование дефекта приводит к снижению общей жесткости системы, которая не обеспечивает статическое равновесие. Возникшие инерционные усилия вызывают динамическую реакцию, перераспределение и рост деформаций и напряжений. В результате возможно нарушение штатного функционирования конструкции либо потеря несущей способности и разрушение, что приводит к появлению конструктивной нелинейности.

В таблице 1 приведена краткая характеристика причин разрушения мостов и этапов их восстановления с учетом недостаточночного расчета напряженно-деформированного состояния мостовых конструкций, включая конструктивно нелинейность системы.

Таблица 1 – **Краткая характеристика причин разрушения мостов и этапов их восстановления**

Причины разрушения мостов	Место расположения	Краткая характеристика этапов восстановления	Способы предотвращения разрушения мостов
Военные действия	Сербия, река Дунай (мост братства и единства, 1999 г.)	*Первый этап* – краткосрочное (использование инвентарных быстровозводимых переправ, мостов и конструкций); *Второй этап* – восстановление по старой оси или строительство нового моста на ближнем или дальнем обходе	Заблаговременная подготовка сил и средств
			Организация активной противовоздушной обороны
			Спланированная система обеспечения живучести объекта
Стихийные бедствия	Российская Федерация, наводнение в Туапсе (река Макопсе, 2018 г.)		При проектировании мостов в потенциально опасных районах строительства учитывать конструктивную нелинейность системы
			Заблаговременная подготовка сил и средств к решению такого типа задач
Аварийные ситуации при столкновении	Республика Беларусь, ст. Прибор, Гомельский район (река Уза, 2001 г.)		Спланированная система обеспечение живучести объекта

Окончание таблицы 1

Причины разрушения мостов	Место расположения	Краткая характеристика этапов восстановления	Способы предотвращения разрушения мостов
Резонанс (последствия динамических крутильных колебаний из-за недоучета ветровых нагрузок при проектировании сооружения)	США, штат Вашингтон. Висячий мост (пролив Такома-Нэрроуз, 1940 г.)		
Ошибки при проектировании, строительстве и эксплуатации	Республика Беларусь, Витебск (река Западная Двина, 2007 г.)		

Выводы. На сегодняшний день проблемы устойчивости и колебаний стержней (свай), полностью или частично заглубленных в грунт, которые следует рассматривать с позиций конструкционной нелинейности, изучены недостаточно. Учитывая практическую значимость проблемы обеспечения прочности, живучести и устойчивости таких систем и отсутствие в известных источниках работ, посвященных исследованию динамики и устойчивости конструктивно-нелинейных стержней (свай) на упругом основании, рассмотренное научное направления исследований следует считать актуальным.

Список литературы

1 **Яровая, А. В.** Механико-математическая модель деформирования неупругой трехслойной балки, частично опертой на упругой основание / А. В. Яровая, А. А. Поддубный // Теоретическая и прикладная механика. – 2015. – № 30. – С. 256–262.

2 **Поддубный, А. А.** Теоретическое и экспериментальное определение перемещений трехслойной балки при неполном контакте с упругим основанием / А. А. Поддубный, А. В. Яровая // Мир транспорта и технологических машин. – 2015. – № 3(50). – С. 256–262.

3 **Яровая, А. В.** Деформирование упругой трехслойной балки, частично опертой на упругое основание, под действием равномерно распределенной нагрузки / А. В. Яровая, А. А. Поддубный // Теоретическая и прикладная механика. – 2016. – № 31. – С. 242–246.

4 **Gordon, V.** Dynamical processes analysis in the load beams after partial destruction / V. Gordon, O. Pilipenko // Proc. of the 6-th Intern. conf. on computational methods in structural dynamics and earthquake engineering. – Island of Rhodes, Greece, 2017. – Vol. 2. – P. 3847–3861.

5 **Gordon, V.** The reaction of the «beam-foundation» system to the sudden change of the boundary conditions. Matec Web of Conference, Vol.188, 03008(2018) / V. Gordon, O. Pilipenko, V. Trifonov / 5-th Intern. Conference of engineering against failure Island of Chios, Greece, june 20–22, 2018.

6 **Gordon, V.** Dynamic effect at sudden structural rebuilding of the beam-foundation system / V. Gordon, O. Pilipenko, V. Trifonov / Proc. of ISMA 2018 and USD 2018, p. 1571–1580. Intern. Conference on Noise and Vibration Engineering and Intern. Conference on Uncertainly of Structural Dynamics, September, 17–19. (2018), Leuven, Belgium.

Получено 01.11.2018.

A. A. Poddubny, V. A. Gordon. Especially the study of structurally nonlinear systems on the example of bridge structures.

A brief description of the causes of destruction of bridges and the stages of their recovery, taking into account the stress-strain state of bridge structures in a nonlinear system. The analysis of engineering methods of design and calculation, taking into account the sudden restructuring and damage to structural elements of bridge structures.

УДК 691.64

О. В. КОЗУНОВА, кандидат технических наук, А. Г. ТАШКИНОВ, кандидат технических наук, М. П. КАХАНЧИК, студентка (ПК-51), В. В. ЗАЯЦ, студент (ПК-51), Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА СТРОИТЕЛЬНОГО РАСТВОРА С ОТРАБОТАННОЙ ФОРМОВОЧНОЙ СМЕСЬЮ ПО ПРОЧНОСТИ И ПЛАСТИЧНОСТИ

Рассмотрено использование вторичных ресурсов в повторном применении без утилизации. В данной научно-исследовательской работе рассматривается отработанная формовочная смесь (ОФС). Она используется в строительном растворе как частичная замена мелкого заполнителя. Проведены испытания на прочность и пластичность.

Введение. Одной из главных экологических проблем Республики Беларусь является проблема накопления отходов производства и потребления. Одним из таких отходов является отработанная формовочная смесь в металлургической промышленности. Формовочная смесь – это смесь песчано-глинистых и высокоогнеупорных материалов (шамот, асбест и др.) со связующим, используемая для изготовления разовых и полупостоянных форм.

В качестве основных материалов для формовочной массы используют кварц и кристобалит. Однако они не вступают между собой в химическое взаимодействие. Для изготовления упрочненной литейной формы необходим связующий материал. Им могут быть гипс, фосфат или силикат. В зависимости от связующего материала добавляется жидкость для замешивания. Для гипсовой связки добавляется вода, для фосфатной – кремниевый золь и дистиллированная вода, для силикатной – этилсиликат и соляная кислота.

Материалы для приготовления смеси: для приготовления смесей используются природные и искусственные материалы. Песок – основной компонент формовочных смесей. Обычно используется кварцевый или цирконовый песок из кремнезема. Глина является связующим веществом, обеспечивающим прочность и пластичность, обладающим термической устойчивостью. Широко применяют бентонитовые или каолиновые глины.

Свойства формовочных смесей:

– прочность – способность смеси обеспечивать сохранность формы без разрушения при изготовлении и эксплуатации;

– пластичность – способность воспринимать очертание модели и сохранять полученную форму;

– текучесть – способность смеси обтекать модели при формовке, заполнять полость стержневого ящика;

– способность выдерживать высокую температуру сплава без оплавления или химического с ним взаимодействия;

– долговечность – способность сохранять свои свойства при многократном использовании.

Далее будут рассмотрены характеристики строительного раствора при частичной замене мелкого заполнителя отработанной формовочной смесью.

Задание на подбор начального состава строительного раствора.

Тип раствора: кладочный, марка раствора М100 ($R_р$ = = 7,5 МПа), марка цемента М400 ($R_ц$ = 39,2 МПа), подвижность – 8–12 см.

Подбор состава строительного раствора производится по методу абсолютных объемов.

Состав раствора на пробный замес

Начальный состав:

Для 1 м^3 Ц – 272 кг, В – 204 кг, П – 1490 кг.

Для 2 л Ц – 0,54 кг, В – 0,4 кг, П – 3 кг.

С 10 % ОФС:

Для 1 м^3 Ц – 272 кг, В – 204 кг, П – 1341 кг, ОФС – 149 кг.

Для 2 л Ц – 0,54 кг, В – 0,5 кг, П – 2,8 кг, ОФС – 0,3 кг.

С 15 % ОФС:

Для 1 м^3 Ц – 272 кг, В – 204 кг, П – 1266 кг, ОФС – 224 кг.

Для 2 л Ц – 0,54 кг, В – 0,5 кг, П – 2,53 кг, ОФС – 0,45 кг.

С 20 % ОФС:

Для 1 м^3 Ц – 272 кг, В – 204 кг, П – 1192 кг, ОФС – 298 кг.

Для 2 л Ц – 0,54 кг, В – 0,5 кг, П – 2,4 кг, ОФС – 0,6 кг.

С 25 % ОФС:

Для 1 м^3 Ц – 272 кг, В – 204 кг, П – 1117 кг, ОФС – 373 кг.

Для 2 л Ц – 0,54 кг, В – 0,5 кг, П – 2,23 кг, ОФС – 0,75 кг.

Расчеты:

1 Определяем количество цемента на 1 м^3 песка:

$$Q_ц = \frac{830R_р}{K_п R_ц} + 45 = \frac{830 \cdot 7{,}5}{0{,}7 \cdot 39{,}2} + 45 = 272 \text{ кг},$$

где $K_п$ – коэффициент крупности песка ($K_п$ = 0,7).

2 Рассчитываем количество воды:

$$В = 0{,}75Q_ц = 0{,}75 \cdot 272 = 204 \text{ кг}.$$

3 Вычисляем расход песка:

$$Q_п = V_п \rho_н = 1 \cdot 1490 = 1490 \text{ кг},$$

где $\rho_н$ – насыпная плотность песка.

4 Находим состав раствора в частях по объему

$$\frac{Ц}{Ц} = \frac{П}{Ц} = \frac{В}{Ц} = 1{:}5{,}5{:}0{,}75.$$

Расход материалов на пробный замес:

V = 2 л = 0,002 м^3;

Ц = 272 · 0,002 = 0,54 кг;

П = 1490 · 0,002 = 3 кг;

В = 204 · 0,002 = 0,4 кг.

В таблицах 1 и 2 приведены результаты испытаний на сжатие полученных образцов начального состава растворной смеси и с отработанной формовочной смесью ОФС (в скобках дана объемная доля ОФС от заполнителя).

Для каждого образца даны: разрушающая нагрузка (P, кН), площадь торцевой грани кубика (F, мм^2), рассчитанный предел прочности на сжатие (R, МПа), средний предел прочности на сжатие ($R_{ср}$, МПа), средний предел прочности на сжатие на 28-е сутки ($R_{ср}$ (28), МПа).

Таблица 1 – **Результаты испытаний (возраст образцов – 28 суток)**

№ образца	Параметры образца			
	P, кН	F, мм^2	R, МПа	$R_{ср}$, МПа
Начальный состав				
1	27	4970	5,43	5,68
2	27	5077	5,32	
3	32	5076	6,3	
Первый замес (10 % ОФС)				
1	52	5075	10,25	10,86
2	58	5040	11,51	
3	54,5	5040	10,81	
Второй замес (15 % ОФС)				
1	65	4970	13,1	13,64
2	71	5006	14,18	
3	44	5112	13,64	

Таблица 2 – **Результаты испытаний (возраст образцов – 14 суток)**

№ образца	Параметры образца				
	P, кН	F, мм^2	R, МПа	$R_{ср}$, МПа	$R_{ср}$,(28) МПа
Третий замес (20 % ОФС)					
1	62	5040	12,3	12,2	16,26
2	63	4970	12,68		
3	57	4900	11,63		
Четвертый замес (25 % ОФС)					
1	69	5076	13,59	13,95	18,6
2	68,5	5041	13,59		
3	74	5040	14,68		

При возрасте, отличном от 28-суточного, предел прочности раствора определяется по формуле

$$R_р(28) = R_р(n)\ \frac{28\ (\alpha - 1) + n}{\alpha n},$$

где n – возраст образцов, сут, $R_р(n)$ – предел прочности в возрасте n суток, МПа; $\alpha = 1{,}5$.

Определяем предел прочности на 28-е сутки третьего замеса при 20%-й замене песка ОФС:

$$R_р(28) = 12{,}2 \cdot \frac{28\ (1{,}5 - 1) + 14}{1{,}5 \cdot 14} = 16{,}26\ \text{МПа}.$$

Определяем предел прочности на 28-е сутки четвертого замеса при 25%-й замене песка ОФС:

$$R_р(28) = 13{,}95 \cdot \frac{28\ (1{,}5 - 1) + 14}{1{,}5 \cdot 14} = 18{,}6\ \text{МПа}.$$

Исследование прочности раствора с добавлением отработанной формовочной смеси (ОФС). На графиках (рисунки 1 и 2) показаны зависимости полученной прочности от нормируемой для различных марок строительного раствора.

На рисунке 1 видно, что полученная прочность 5,68 МПа соответствует марке М100, что и требовалось по заданию.

При замене мелкого заполнителя на 10 % формовочной смеси от его массы прочность на сжатие увеличилась с 5,68 до 10,86 МПа. Полученная прочность соответствует марке М200, что больше на одну марку в сравнении с начальным составом (см. рисунок 1).

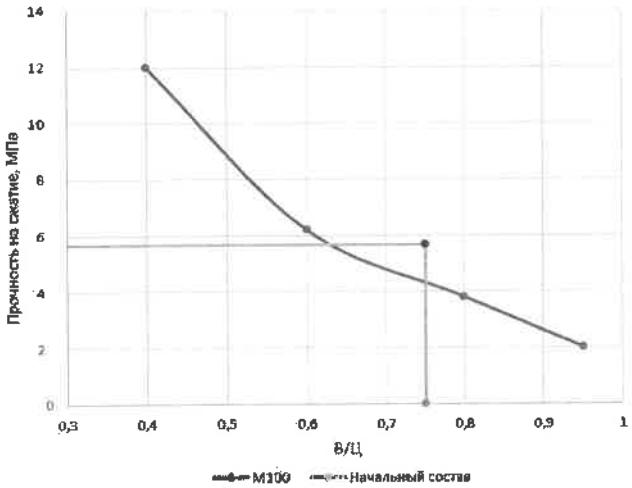


Рисунок 1 – Корректировка строительного раствора по прочности для начального состава

При замене мелкого заполнителя на 15 % формовочной смеси от его массы прочность на сжатие увеличилась с 5,68 до 13,64 МПа. Полученная прочность находится между марками М200 и М300, что больше на полторы марки в сравнении с начальным составом (см. рисунок 1).

При замене мелкого заполнителя на 25 % формовочной смеси от его массы (см. рисунок 2) прочность на сжатие увеличилась с 5,68 до 18,6 МПа. Полученная прочность соответствует марке М300, что больше на две марки в сравнении с начальным составом (см. рисунок 1).

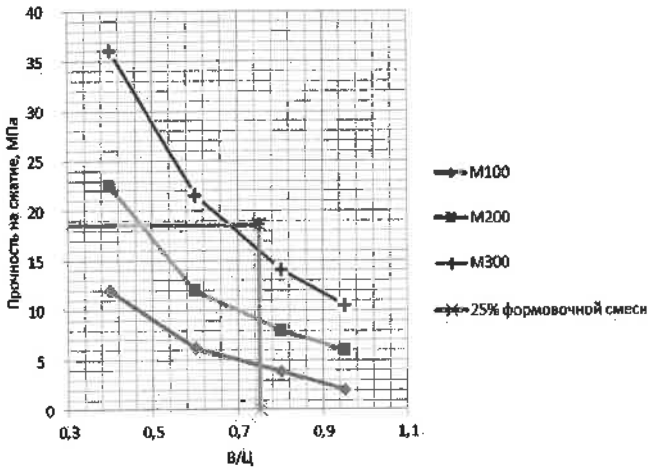


Рисунок 2 – Корректировка строительного раствора по прочности при замене мелкого заполнителя на 25 % формовочной смеси

При замене мелкого заполнителя на 20 % формовочной смеси от его массы прочность на сжатие увеличилась с 5,68 до 16,26 МПа. Полученная прочность соот-

ветствует марке М300, что больше на две марки в сравнении с начальным составом (см. рисунок 1).

На рисунке 3 показана итоговая прочность на сжатие всех образцов в зависимости от процентного содержания формовочной смеси в строительном растворе. Из этой зависимости видно, что при введении в строительный раствор отработанной формовочной смеси как часть мелкого заполнителя ведет к увеличению прочности.

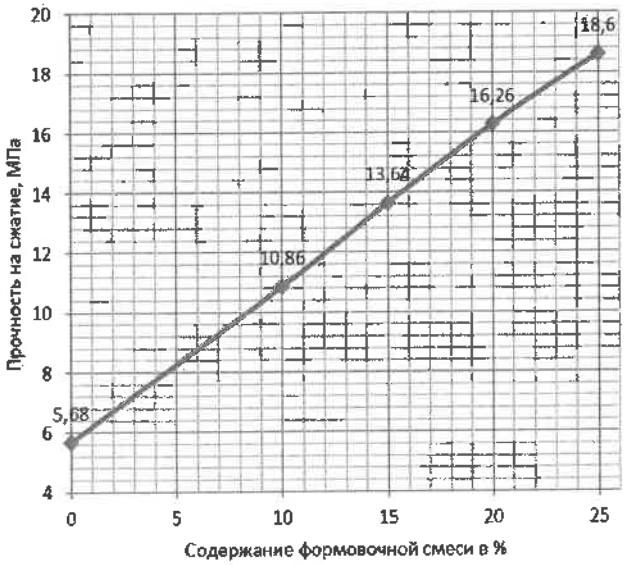


Рисунок 3 – Зависимость прочности от процентного содержания формовочной смеси

Исследование пластичности раствора с добавлением формовочной смеси. На кубиках с добавлением 25 % формовочной смеси было проведено испытание с учетом разгрузки и повторного нагружения.

Первый кубик (рисунок 4, линия 1) не проходил данное испытание и был разрушен при значении 74 кН.

Второй кубик (рисунок 4, линия 2) был нагружен до значения 66 кН, после отдыха в 1 минуту был повторно нагружен до разрушения. Разрушение произошло на значении 69 кН.

Третий кубик (рисунок 4, линия 3) был нагружен до значения 52 кН, после отдыха был повторно нагружен до 66 кН и после повторного отдыха был нагружен до значения 68 кН, после чего произошло разрушение.

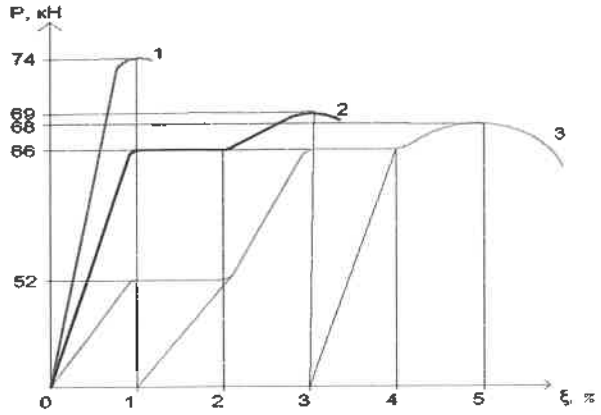


Рисунок 4 – Диаграмма деформирования образцов-кубиков

На основании данного испытания можно сделать вывод: строительный раствор с содержанием 25 % формовочной смеси начал проявлять пластические свойства, что обусловлено составом формовочной смеси, а именно включением металлических частиц.

Выводы. В результате проведенных испытаний было установлено, что:

1) прочность строительного раствора растет при частичной замене мелкого заполнителя на отработанную формовочную смесь. В дальнейшем эти результаты помогут снизить стоимость готового раствора с наилучшими характеристиками;

2) строительный раствор при добавлении 25 % формовочной смеси, стал проявлять пластические свойства. Поэтому можно предположить, что формовочную смесь можно использовать в качестве добавки пластификатора. Но для этого требуется ряд дополнительных исследований. У отработанной формовочной смеси есть недостаток – это содержание металлических включений, которые отрицательно сказываются на свойствах раствора, вызывая преждевременную коррозию.

Список литературы

1 **Боровский, Ю. Ф.** Формовочные и стержневые смеси / Ю. Ф. Боровский, М. И. Шацких. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отделение, 1980. – 86 с.

2 **Илларионов, И. Е.** Формовочные материалы и смеси : [монография] / И. Е. Илларионов, Ю. П. Васин. – Чебоксары : Изд-во Чуваш. ун-та, 1992. – Ч. 1. – 223 с.

Получено 02.10.2018

O. V. Kozunova, A. G. Tashkinau, M. P. Kahanchik, V. V. Zayats. Optimization of composition of structural solution with waste forming mix on durability and plasticity.

Use of secondary resources in repeated application without utilization is considered. In this research the waste forming mix (WFM) is considered. It is used in structural solution as partial replacement of shallow filler. Strength tests and plasticity are carried out.

ПУТЬ И ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 625.1; 628.012.011.56

В. М. ГРИБ, заместитель начальника Могилевского отделения Белорусской железной дороги, Н. В. МАМСИКОВ, начальник отдела пути Могилевского отделения Белорусской железной дороги, П. В. КОВТУН, кандидат технических наук, доцент, А. А. АЛЬХОВСКАЯ, магистрант, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К РАЗВИТИЮ ПУТЕВОГО ХОЗЯЙСТВА

Рассматриваются различные современные подходы к развитию путевого хозяйства на Белорусской железной дороге, которые позволят перейти на новый уровень организации контроля и управления процессами, влияющими на безопасность движения.

Актуальность исследуемой проблемы обусловлена глубокими научно-техническими и институциональными преобразованиями, происходящими в процессе глобализации мировой экономики и становления организационно-правовых основ рыночной экономики. Критическим фактором ее развития являются производственные транспортные системы. Развитие транспортного комплекса приобретает статус приоритетных задач государственной деятельности. Производственная транспортная инфраструктура становится стратегическим элементом развития экономики Республики Беларусь.

Путевое хозяйство – одна из основных отраслей железнодорожного транспорта, в которую входят железнодорожный путь со всеми сооружениями, а также комплекс производственных подразделений и хозяйственных предприятий, предназначенных для обеспечения бесперебойной работы пути, его текущего содержания и ремонта.

На долю путевого хозяйства приходится более 50 % стоимости основных фондов Белорусской железной дороги, пятая часть эксплуатационных расходов, в нем занята шестая часть работников железнодорожного транспорта.

Основным назначением путевого хозяйства является содержание пути и путевых устройств в постоянной исправности, обеспечивающей безопасное и плавное движение поездов с наибольшими скоростями, установленными для данного участка. Достигается это текущим содержанием пути, своевременным выявлением и предупреждением неисправностей пути, устранением их причин, а также усилением и ремонтом пути. Главным фактором оптимизации расходов путевого хозяйства является применение ресурсосберегающих технологий, позволяющих продлевать ремонтные сроки и снижать трудоемкость текущего содержания пути.

Внедрение различных подходов к текущему содержанию пути должно сопровождаться и повышением эффективности работы предприятия. Эта задача решается по следующим направлениям:

– повышение квалификации персонала;

– совершенствование технологий: переход к различным методам работы дистанций; внедрение мониторинга состояния железнодорожного пути и его элементов, создание программных комплексов АСУ-путь.

Перевооружение путевого хозяйства предусматривает повышение надежности работы рельсовой колеи и на этой основе обеспечение безопасности движения, рост скоростей, прежде всего пассажирских поездов, снижение эксплуатационных расходов.

К сожалению, сам процесс модернизации ведения путевого хозяйства вызывает определенные затруднения, и поэтому совершенствование организации является одной из важных задач транспорта. Элементом совершенствования является и снижение трудовых затрат на текущее содержание. В экономическом плане перспектива развития путевого хозяйства должна сводиться к планомерному снижению расходов на текущее содержание железнодорожного пути.

Сегодня в распоряжении железной дороги имеются высокопроизводительные машины последнего поколения. Однако при этом имеются организационные пробелы во всех технологических цепочках ремонтов пути. Требуется создание таких систем и методов, которые бы в минимальной степени сказывались на пропускной способности ремонтируемого участка и были органически связаны с общей эксплуатационной деятельностью дороги.

Опыт эксплуатации зарубежных высокоскоростных магистралей указывает на целесообразность совместного обслуживания устройств пути, электроснабжения, сигнализации, централизации и автоблокировки. Создание объединенных подразделений или предприятий для выполнения этих работ позволяет уменьшить аппарат управления; эффективнее использовать производственные базы для осуществления планово-предупредительных и ремонтных работ; сократить время «окон», выделяемых в расписании, когда прекращается движение поездов. Такие объединенные предприятия (дистанции инфраструктуры) в перспективе могут быть организованы на базе ПЧ.

Организация планирования работы дистанции инфраструктуры будет осуществляться на основе существующих графиков технологических процессов после кардинального пересмотра нормативной базы, который возможен только после признания недействующими ранее изданных документов для каждого хозяйства.

Для повышения качества осмотров и предупреждения рисков в части безопасности движения поездов предлагается сформировать группу контроля, в состав которой войдут представители отраслевых хозяйств.

Работа дистанции инфраструктуры даст возможность перейти на новый уровень организации контроля и управления процессами, влияющими на безопасность движения. Предполагается радикально увеличить внутреннюю эффективность за счет укрепления горизонтальных связей между работниками хозяйств инфраструктуры. Это, в свою очередь, позволит организовать

надежную и эффективную работу в интересах всех участников процесса обеспечения безопасности движения. Таким образом, данная форма управления комплексом инфраструктурного хозяйства является перспективным и современным методом ведения и управления подразделениями.

Основными задачами дистанции являются управление и организация текущего содержания объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования и железнодорожных путей необщего пользования в технически исправном состоянии, обеспечение безопасности движения поездов.

При создании дистанции инфраструктуры и организации совмещенных работ одним из главных моментов является комплексный подход к планированию «окон» при текущем содержании и ремонте объектов инфраструктуры. При внедрении комплексного метода содержания пути решается ряд задач по организации работ в «окно» и контролю за состоянием объектов инфраструктуры. Начальники участков совместно с комплексной бригадой ведут контроль за состоянием пути и выполняют неотложные работы. У руководства появится возможность планово организовывать работы по содержанию пути, выполнять больший объем работы и, что весьма важно, контролировать выполнение работ. Этот подход даст направление по специализации работников и рациональному разделению труда, повышению их квалификации.

Для повышения производительности труда в целях исключения дублирования ввода данных и оптимизации статистической информации на Могилевском отделении Белорусской железной дороги проводится работа по внедрению в опытном порядке единой информационно-управляющей системы АСУ «Путь», объединяющей основные производственные процессы ремонта и содержания инфраструктуры на всех уровнях управления.

АСУ «Путь» предназначена для повышения оперативности ввода/вывода данных сотрудниками, а также анализа полученных данных для принятия управленческих решений. Основным назначением АСУ является реализация ввода, хранения, редактирования, вывода данных, в том числе отображение полученных данных в таком виде и форме, который удобен для любого пользователя системы вне зависимости от выполняемой им роли (рисунок 1).

Цели создания системы:

1) обеспечение сбора и первичной обработки исходной информации, необходимой для подготовки отчетности по показателям деятельности;

2) создание единой системы отчетности по отделению железной дороги;

3) повышение качества своевременности поступления информации заинтересованным лицам;

4) объединение всех объектов, по которым обрабатываются данные, в единую модель, которая отображает актуальную информацию на текущий момент;

5) сокращение времени сбора и первичной обработки исходной информации.

Рассматривая автоматизированную систему управления путевым хозяйством, можно выделить следующие направления управления:

1) ремонтами пути;

2) текущим содержанием пути;

3) системой диагностики, контроля состояния пути и сооружений путевого хозяйства;

4) парком путевых машин;

5) материальными ресурсами;

6) объектом управления (околотком, участком, ПЧ);

7) смежными функциями (поставки материалов и услуг).

Первоочередными направлениями развития информационного обеспечения для дистанции инфраструктуры являются:

1) развитие информационного обеспечения диагностического блока (развитие функциональности бесстыкового пути в части интеграции со средствами контроля состояния плетей бесстыкового пути; оперативное управление путевым хозяйством, т. е. планирование, выполнение, анализ выполнения, последующее прогнозирование);

2) реализация единой информационно-управляющей системы, объединяющей основные производственные процессы ремонта и содержания инфраструктуры на всех уровнях управления;

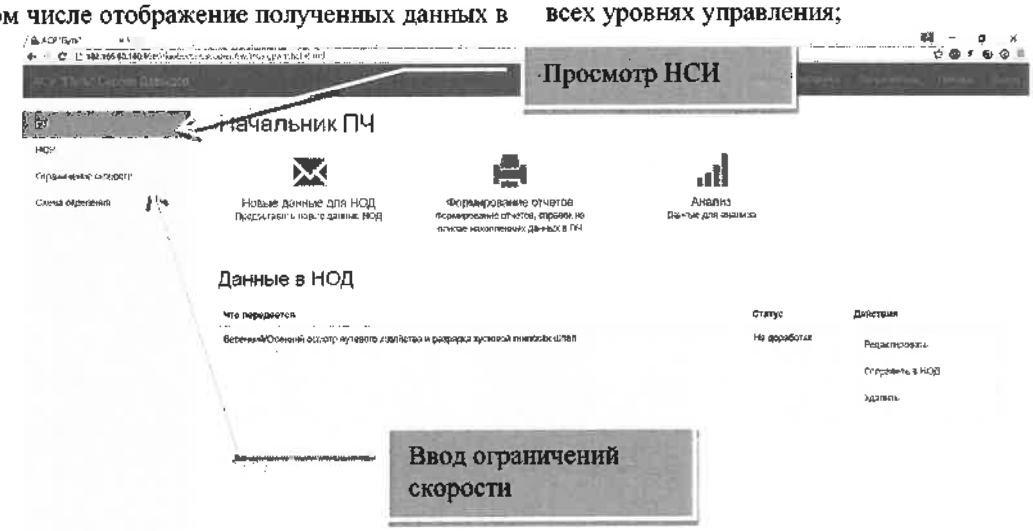


Рисунок 1 – Система ввода данных

3) автоматизация процесса увязки результатов классификации железнодорожный линий с техническими паспортами хозяйств инфраструктурного блока.

Это позволит осуществлять эффективное управление ресурсами через получение информации по затратам на содержание одного километра пути или одной технической единицы в масштабах сети в разрезе региональных дирекций, предприятий в увязке с классами железнодорожных линий.

В состав Могилевского отделения Белорусской железной дороги входят четыре дистанции пути (далее – ПЧ): Кричевская, Могилевская, Осиповичская, Бобруйская. В рамках каждой ПЧ осуществляется осмотр, поддержка качественного состояния путей. Сотрудниками ПЧ собирается исходная информация путем непосредственного осмотра и документирования. В дальнейшем задокументированная информация поступает в Могилевское отделение.

Объектами автоматизации данной программы является непосредственно процесс ввода, хранения, передачи информации от дочерних предприятий до управляющего отделения (в конкретном случае – Могилевского), а также процесс обработки, анализа, вывода полученной итоговой информации для формирования отчетной документации на стороне управляющего отделения (рисунок 2).

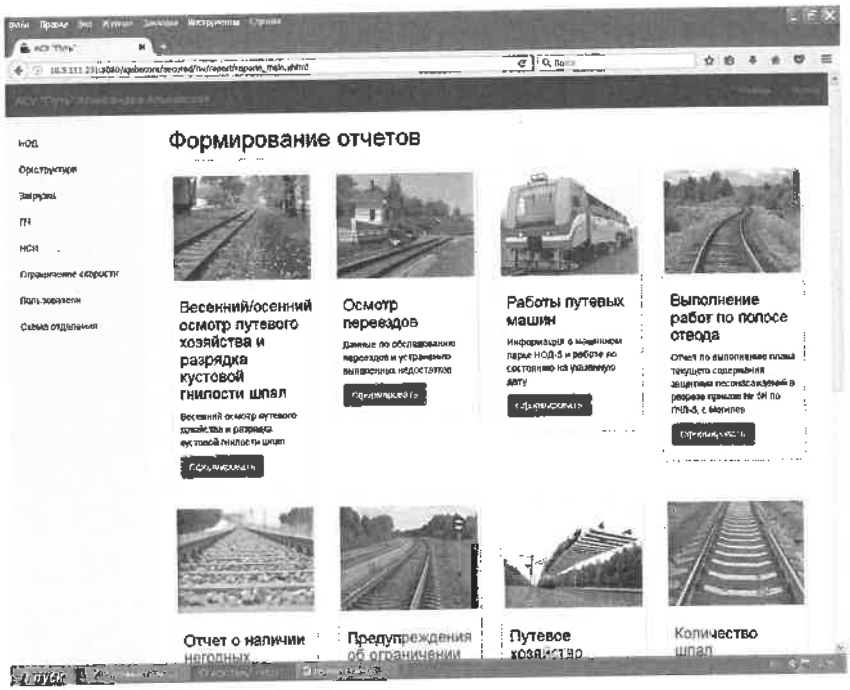


Рисунок 2 – Формирование отчетов

С точки зрения сокращения затрат на финансирование и оптимизацию работы руководящего звена с учетом грузооборота представляется целесообразным сформировать на базе ПЧ-20 экспериментальную дистанцию инфраструктуры (ИЧ), в состав которой будут входить, собственно, Бобруйская дистанция пути (ПЧ-20), Бобруйский участок дистанции сигнализации и связи (ШЧ-4) и участок дистанции энергоснабжения (ЭЧ-5).

Выбор ПЧ-20 обусловливается такими показателями, как низкая балльность и малая протяженность, что позволит больше времени уделять организации путеремонтных работ.

Основными проблемными вопросами, препятствующими полноценному внедрению автоматизированных систем инфраструктурного комплекса, остаются:

– низкий уровень оснащенности рабочих мест сотрудников инфраструктурного хозяйства персональными компьютерами;

– отсутствие доступа автоматизированных рабочих мест линейных работников хозяйств, расположенных на промежуточных и участковых станциях, к централизованным информационным ресурсам из-за отсутствия подключения их к сетям передачи данных.

Список литературы

1 Приказ о системе ведения путевого хозяйства Белорусской железной дороги № 450 Н от 30.12.2006. – Минск, 2006. – 25 с.

2 Приказ ОАО «РЖД» № 92/Н от 08.04.2002 г. «Об организации на железных дорогах машинизированного содержания пути».

3 Информационные технологии в путевом хозяйстве : метод. указ. / сост. В. П. Бельтюков, В. В. Гниломедов, Н. Н. Качан. – СПб. : ПГУПС, 2004.

4 Автоматизированная система управления путевым хозяйством железнодорожного транспорта (АСУ-ПХ): Концепция : [утв. МПС России, 2001].

Получено 29.09.2018

V. M. Grib, N. V. Mamsikov, P. V. Kovtun, A. A. Alkhouskaya. Modern approaches to the development of track facilities.

Various modern approaches to the development of track facilities on the Belarusian railway are considered, which will allow to move to a new level of control and management of processes affecting traffic safety.

УДК 625.144.6

В. Л. МОИСЕЕНКО, кандидат технических наук, П. В. КОВТУН, кандидат технических наук, Н. В. ПИСЬМЕННАЯ, магистр технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОСОБЕННОСТИ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЫПРАВОЧНО-ПОДБИВОЧНО-РИХТОВОЧНОЙ МАШИНЫ

С целью увеличения производительности подбивки шпал и технико-эксплуатационных характеристик железнодорожного пути была разработана выправочно-подбивочно-рихтовочная машина непрерывного действия.

Выправка пути сплошной подбивкой шпал с одновременным регулированием пути в плане, профиле и по уровню является одной из значимых технологий при текущем содержании пути. В Республике Беларусь при выправке пути используются различные типы путевых машин. Можно выделить три основных направления применяемых путевых машин для сплошной выправки пути: циклического действия, непрерывно-циклического действия и непрерывного действия. При циклическом действии используются следующие машины: Duomatic 08-32; Unimat Compact 08-275/3s-16; ВПР-02; ВПР-03. При непрерывно-циклическом действии используются машины Duomatic 09-32 CSM; Dynamic Stophexpress 09-3X, при непрерывном – машина ВПО 3000.

Тем не менее существующее многообразие парка выправочно-подбивочно-рихтовочных машин не позволяет выполнить все необходимые работы при выправке пути из-за их невысокой производительности (рисунок 1).

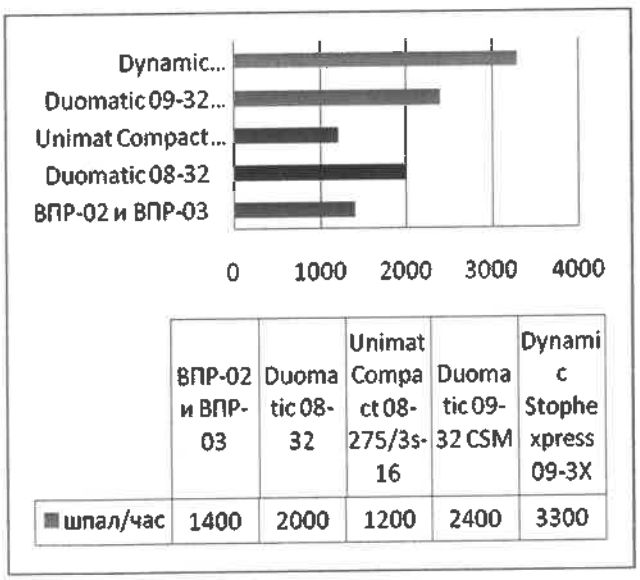


Рисунок 1 – Производительность машин типа ВПР на Белорусской железной дороге

В связи с этим была разработана 3D-модель выправочно-подбивочно-рихтовочной машины непрерывного действия, осуществляющая непрерывную подбивку шпал при постоянном передвижении машины. Её производительность при подбивке двух шпал – более 5500 шпал/ч. Создана модель этой машины, которая позволяет моделировать непрерывную выправку пути и уплотнение балласта.

3D-модель машины непрерывного действия. Выправочно-подбивочно-рихтовочная машина непрерывного действия (рисунок 2) для осуществления способа непрерывной подбивки шпал железнодорожного пути содержит раму *1*, установленную на ходовых приводных тележках *2* и *3* для перемещения по рельсам. На раме установлен подбивочный комплекс (рисунок 3).

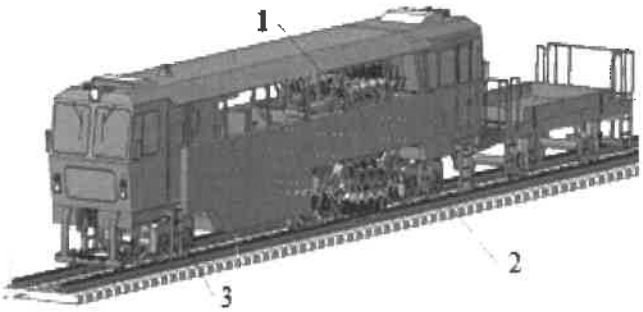


Рисунок 2 – Общий вид выправочно-подбивочно-рихтовочной машины

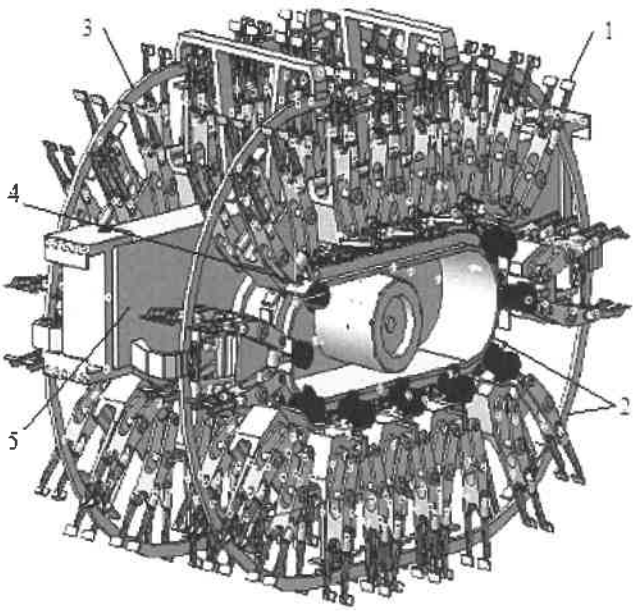


Рисунок 3 – Подбивочный комплекс:
1 – подбивочный блок; *2* – продольные кольцевые направляющие; *3* – участок возврата; *4* – каретки; *5* – рама

На раме подбивочного комплекса выполнены поперечные направляющие, на которых установлена подвижная в горизонтальной плоскости рама с приводами с возможностью независимого перемещения по ним. На подвижной раме параллельно над каждым рельсом выполнены продольные кольцевые (замкнутые) направляющие с прямолинейным (рабочим) участком и участком возврата, включающим два радиусных участка и прямую верхнюю

ветвь. Участок возврата может иметь другие геометрические формы: например часть эллипса. На каждой из кольцевых направляющих установлены каретки.

Количество одновременно подбиваемых шпал может быть выражено дробным числом. Кольцевые направляющие изначально расположены в параллельной продольной оси машины плоскости, например в вертикальной. Каретки снабжены вертикальными направляющими и приводом для перемещения по ним подбивочного блока. На подбивочном блоке закреплены подбойки с приводом для перемещения балласта под шпалу и его уплотнения (подбивки). На каретке может располагаться соединенная с аппаратами управления распределительная, регулирующая и приемо-передающая аппаратура, а приводы рабочих органов могут быть снабжены датчиками положения. Каретки могут иметь индивидуальный привод для передвижения по кольцевым направляющим. Выходным звеном привода может являться, например, шестерня, которая зацеплена с зубчатой рейкой, установленной параллельно кольцевым направляющим. Привод может быть многоскоростным или регулируемым. В этом случае количество кареток на каждой кольцевой направляющей должно быть не менее двух. Привод для перемещения кареток по кольцевым направляющим может быть общим для кареток одной направляющей.

Скорость перемещения машины относительно рельс прямо пропорциональна произведению среднего расстояния между соседними шпалами на количество одновременно подбиваемых шпал и обратно пропорциональна времени контакта одного подбивочного блока с балластом.

Расчет на прочность и долговечность основных конструкций и узлов машины. Рама машины (рисунок 4) является основой машины, на которой смонтированы все рабочие органы и вспомогательное оборудование. Она опирается на две ходовые двухосные тележки. На раму передается вес всех узлов и агрегатов, динамические нагрузки от шпалоподбивочного, подъемно-рихтовочного устройства.

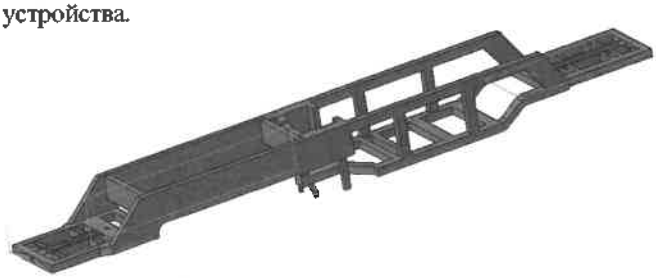


Рисунок 4 – 3D-модель рамы ВПРМ

Произведем расчет модели рамы с помощью библиотеки APMFEM программы «КОМПАС 3DV15».

Метод конечных элементов (МКЭ, или FEM – Finite Element Method) в настоящее время широко используется для решения различных задач механики деформируемого твердого тела, в частности для выполнения экспресс-расчетов на прочность на этапе 3D-проектирования конструкций. Суть метода заключается в разбиении твердотельной модели на конечное число подобластей (элементов), составлении и последующем решении системы линейных алгебраических уравнений. Большинство современных CAD-систем имеет специальные инструменты, предназначенные для автоматизации подобных расчетов. Прикладная библиотека APM FEM предназначена для выполнения экспресс-расчетов твердотельных моделей.

Порядок подготовки модели и выполнения расчета:

1 Подключение библиотеки APM FEM: Прочностной анализ.

2 Подготовка модели к расчету – задание закреплений и приложение нагрузки.

3 Задание совпадающих граней (для КЭ-анализа сборки).

4 Генерация КЭ-сетки.

5 Выполнение расчета.

6 Просмотр результатов в виде карт напряжений, перемещений.

Перед расчетом необходимо установить закрепления рамы, приложить все основные нагрузки, воздействующие на раму (в данном случае целесообразно учитывать вес рабочего, вспомогательного оборудования, кабин, усилия подъема и сдвижки пути). Все значения нагрузок увеличены с учетом коэффициента запаса 3,0.

Результаты расчёта приведены на рисунке 5.

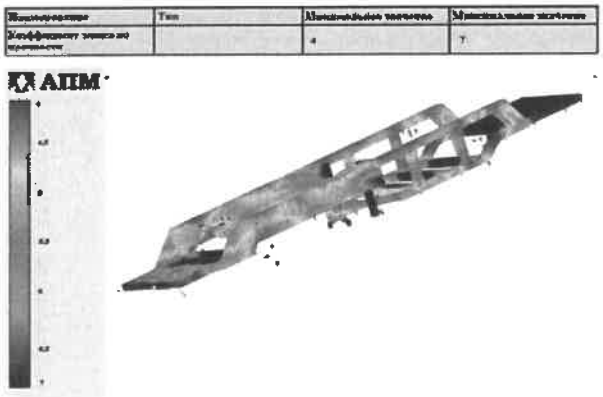


Рисунок 5 – Схема расчёта рамы

Из рисунка 5 видно, коэффициент запаса прочности в максимально напряженном месте имеет минимальное значение 4 и 7 в менее напряженных точках. Следовательно, конструкция рамы выдержит предполагаемые нагрузки при производстве работ.

Подбивочные блоки имеют типовую конструкцию, представленную на рисунке 6.

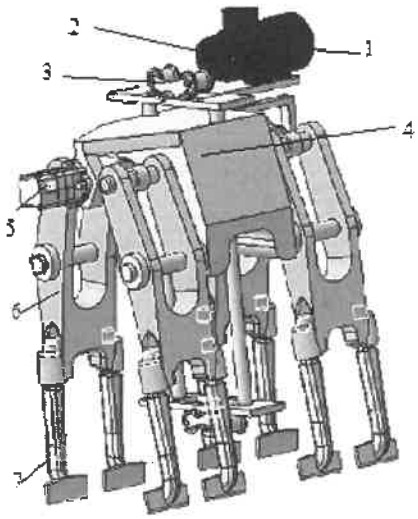


Рисунок 6 – Подбивочные блоки:
1 – электродвигатель; *2* – приводная шестерня; *3* – балансир; *4* – корпус блока; *5* – гидромотор привода механизма вибрации; *6* – рычаг; *7* – подбойка

3D-модель подъёмно-рихтовочного устройства представлена на рисунке 7.

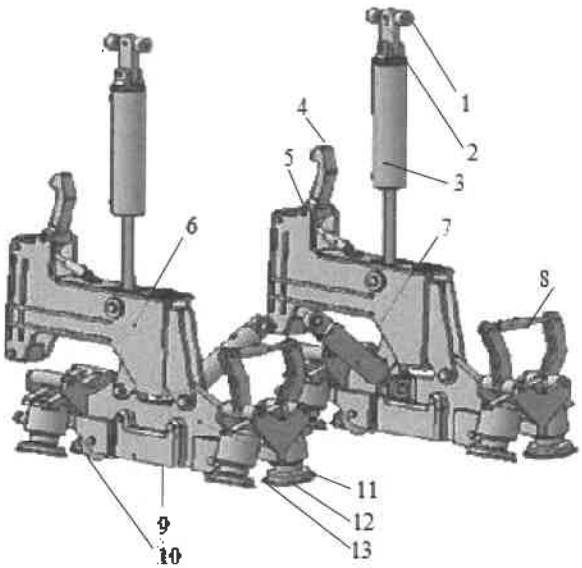


Рисунок 7 – Подъёмно-рихтовочное устройство:
1 – опорный ролик; *2* – опора ГЦ подъема; *3* – ГЦ подъема; *4* – запорный крюк; *5* – ГЦ привода запорного крюка; *6* – рама; *7* – ГЦ сдвига; *8* – ГЦ привода роликов; *9* – электромагнит; *10* – рихтующий каток; *11* – балансир; *12* – подъемный ролик; *13* – подшипниковый узел

Подъёмно-рихтовочное устройство содержит балансир и установленные на него два электромагнита, по одному с каждой стороны. Подъем рельсошпальной решетки будет осуществляться при помощи роликовых захватов, а также с помощью электромагнитов. Использование электромагнитов позволит снизить нагрузку с переднего и заднего захватов, а также избежать излома роликов.

По сравнению с используемыми устройствами данная конструкция позволит осуществлять непрерывное движение машины с поднятой рельсошпальной решеткой, не боясь выхода из строя ее основных органов захвата.

На балансир подъёмно-рихтовочного устройства установлен прямоугольный грузоподъёмный электромагнит.

Расчет балансира подъемно-рихтовочного устройства произведён с помощью библиотеки APM FEM программы «КОМПАС 3D V15». Перед расчетом необходимо установить закрепления балансира, приложить все основные нагрузки, воздействующие на него (в данном случае целесообразно учитывать усилия, приложенные к проушине крепления гидроцилиндра сдвига пути, пальцам крепления серьги ПРУ, пальцам крепления электромагнита подъема пути). Все значения нагрузок увеличены с учетом коэффициента запаса 3,0 (рисунок 8).

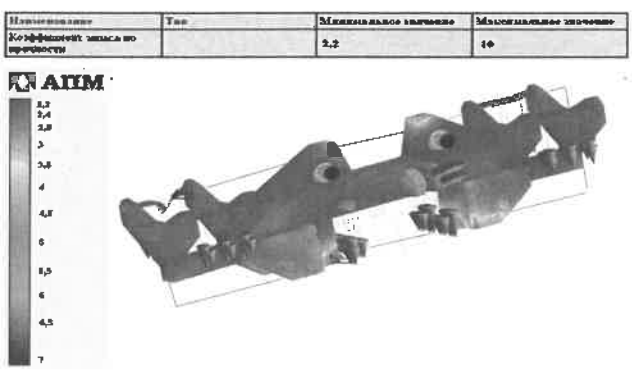


Рисунок 8 – Схема расчёта балансира

Из рисунка 8 видно, коэффициент запаса прочности рамы балансира в максимально напряженном месте имеет минимальное значение 2 и 10 в менее напряженных точках. Следовательно, конструкция рамы балансира выдержит предполагаемые нагрузки при производстве работ.

Производительность выправочно-подбивочно-рихтовочной машины. Она рассчитывается по формуле

$$П_т = \frac{3600n}{t}, \qquad (1)$$

где n – количество одновременно подбиваемых шпал; t – время контакта подбоек одного блока с балластом, с (t =1,415 с).

С учетом того, что машина движется непрерывно, затрачиваемым на подъем/опускание блоков, а также на их позиционирование и захват рельсошпальной решетки временем можно пренебречь, так как все эти операции производятся во время движения.

Машина может работать в двух режимах: подбивке одновременно одной и двух шпал. При подбивке одной шпалы производительность

$$П_т = \frac{3600 \cdot 1}{1{,}415} = 2544 \text{ шпал/ч.}$$

При подбивке одновременно двух шпал производительность

$$П_т = \frac{3600 \cdot 2}{1{,}415} = 5088 \text{ шпал/ч.}$$

При этом скорость перемещения машины, м/с,

$$v_{пер} = \frac{Ln}{t}, \qquad (2)$$

где L – среднее расстояние между соседними шпалами, м (L = 0,6 м).

$$v_{пер} = \frac{0{,}6 \cdot 1}{1{,}415} = 0{,}424 \text{ м/с} = 1{,}52 \text{ км/ч;}$$

$$v_{пер} = \frac{0{,}6 \cdot 2}{1{,}415} = 0{,}848 \text{ м/с} = 3{,}05 \text{ км/ч.}$$

Таким образом, производительность модернизированной машины значительно превышает производительности существующих машин, что доказывает целесообразность проектирования и изготовления машин данного типа.

Заключение. Разработка выправочно-подбивочно-рихтовочной машины непрерывного действия велась с учетом конструкторских решений, принятых на существующих выправочно-подбивочно-рихтовочных машинах цикличного действия ВПР-3Х, ПМА, ВПР-1200 и непрерыно-циклического действия Plasser&Theurer Unimat 09-32, используемые в Республике Беларусь.

Создана 3D-модель выправочно-подбивочно-рихтовочной машины непрерывного действия, которая позволяет модернизировать непрерывную выправку пути и уплотнение балласта. Предлагаемое изобретение позволит увеличить производительность и создать одинаковые условия для подбивки каждой шпалы.

Разработаны рама машины, рама подбивочных блоков, привод подбивочных блоков, усовершенствована система подбивки шпал, подъемно-рихтовочное устройство. Основные конструкции рассчитаны на прочность, устойчивость, собственные колебания с помощью библиотеки APM FEM программы «КОМПАС 3D V15». Выполнены расчеты вписывания машины в габарит, прохождения машиной кривых участков пути, а также тяговый расчет.

Расчетная производительность машины превышает производительность существующих аналогов в два раза, что доказывает экономическую целесообразность данной модернизации.

Список литературы

1 Пат. RU 2 480 552(13) C1 E 01 B 27/16. Способ непрерывной подбивки шпал железнодорожного пути и машина для его осуществления / Балезин Н. И. (RU). – № 32011146518/11; заявл. 16.11.2011; опубл. 27.04.2013, Бюл. № 12 / Федеральная служба по интеллектуальной собственности, 2013. – 32 с.

2 Пат. RU 2237122 C1 E 01 B 27/27. Выправочно-подбивочная машина / Демидов П. И. (RU), Грунин Е. И. (RU), Тикин П. А. (RU). – № 3203104685/11; заявл. 19.02.2003; опубл. 27.09.2004, Бюл. № 11 / Государственное унитарное предприятие Калужский завод «Ремпутьмаш» (RU), 2004. – 8 с.

3 Путевые машины : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / под ред. С. А. Соломонова. – М. : Желдориздат, 2000. – 756 с.

4 Механизированная выправка и подбивка железнодорожного пути : учеб. пособие / под ред. М. В. Поповича. – Л. : ЛИИЖТ, 1984. – 102 с.

5 А. с. SU 1759980 A1 E 01 B 33/02. Устройство для подъема и рихтовки железнодорожного пути / Ж. Х. Тлеугабылов, Ю. М. Шекунов. – № 4889892/11; заявл. 10.12.90; опубл. 07.09.92, Бюл. № 33 / Соколовско-Сарбайское горно-обогатительное производственное объединение, 1992. – 3 с.

Получено 18.09.2018

V. L. Moiseenko, P. V. Kovtun, N. V. Pismennaya. Development of a high-productive machine for continuous action for wrapping and pitching the way.

In order to increase the productivity of the sleepers' tacks and the technical and operational characteristics of the railway track, a straightening-podging and straightening machine was developed.

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ТРАНСПОРТА

УДК 656.224

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

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ФАКТОРОВ ОБНОВЛЕНИЯ ПАРКА ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ НА БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

Приведена параметрическая оценка перспективы обновления парка пассажирских вагонов с учетом многих влияющих факторов. Её использование позволит определить стратегию обеспечения транспортными средствами железнодорожных пассажирских перевозок с минимальным использованием финансовых ресурсов на их приобретение и эксплуатацию. Рассмотрена методика проведения параметрической оценки факторов, влияющих на обновление парка пассажирских вагонов на железной дороге. Даны результаты расчётов с использованием приведенной модели.

Железнодорожные пассажирские перевозки на Белорусской железной дороге являются значительной частью транспортных услуг в её деятельности. Доля пассажирских перевозок в структуре основной деятельности, выполняемой на Белорусской железной дороге, постоянно возрастает (рисунок 1).

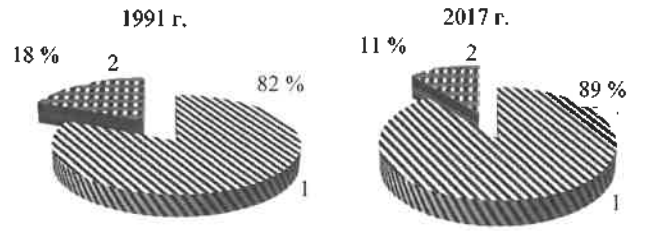


Рисунок 1 – Структурное распределение объёма перевозок:
1 – грузовых; *2* – пассажирских

Из приведенной диаграммы видно, что пассажирские перевозки по объему в структуре транспортной деятельности Белорусской железной дороги существенно уменьшены за период 1991–2017 гг. – с 18 до 11 %.

По структуре расходов пассажирские перевозки на Белорусской железной дороге составляют в настоящее время 43,4, а доходы – 12 % (рисунок 2).

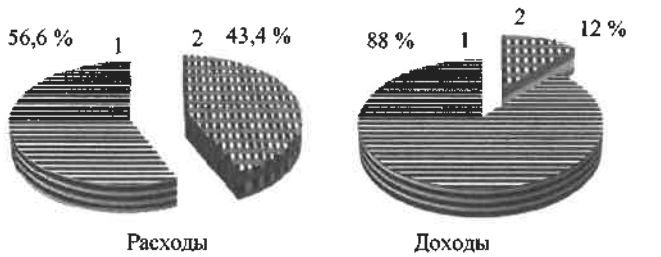


Рисунок 2 – Структурное распределение финансовой ситуации по перевозкам:
1 – грузовых; *2* – пассажирских

Согласно диаграмме на рисунке 2, пассажирские перевозки являются убыточными. С учетом этого для определения стратегии обновления парка пассажирских вагонов следует дать параметрическую оценку пассажиропотоку, пользователей услугами пассажирских перевозок окупаемости проекта замены или обновления парка пассажирских вагонов.

Структура пользователей транспортными услугами железной дороги в области пассажирских перевозок показана на рисунке 3.

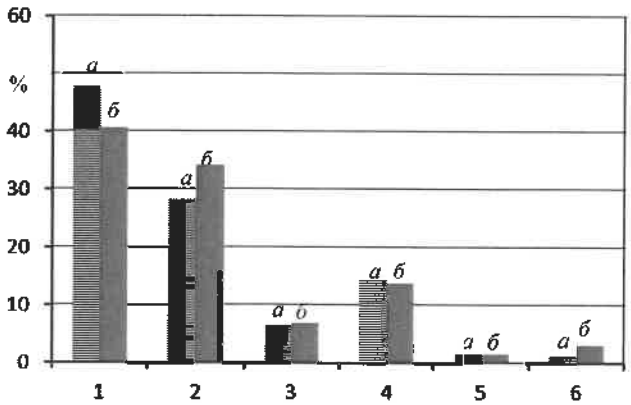


Рисунок 3 – Структурное распределение пользователей железнодорожными пассажирскими перевозками:
а – по объёму; *б* – по доходам; *1* – физические лица; *2* – туристические компании; *3* – бизнесмены; *4* – предприниматели; *5* – прочие организации; *6* – операторские компании

Из приведенной диаграммы видно, что основными пользователями пассажирских перевозок являются физические лица, вторыми – туристические компании, организующие группы пассажиров с целью выездного, спортивного или образовательного туризма.

С учётом значения пассажирских перевозок для железной дороги их можно отнести к категории макроэкономических систем, которые требуют параметрического регулирования. В данном случае в макроэкономическую систему включаются:

– пассажирские поезда различного рейтингового отнесения: 1) по видам сообщения – международные, межрегиональные, региональные, городские; 2) по классу обслуживания – бизнес, эконом;

– пассажирские (вагонные) участки, имеющие техническую и технологическую базу обслуживания транспортных средств для пассажирских перевозок;

– систему административного управления (с учетом ведения хозяйственной деятельности).

Развитие цифровой экономики и новых методов на базе математических моделей для получения оптимальных параметров развития пассажирских перевозок с мак-

роэкономическим подходом на уровне отраслевого хозяйства, регионального развития пассажирской транспортной системы является сегодня актуальной проблемой при формировании парков пассажирских вагонов. Исходя из того, что они формируются по регионам (в пассажирских участках), требуется разработка оптимальной стратегии по параметрам вагонных парков в зависимости от экономической результативности, конкуренции на рынке пассажирских перевозок и при решении социальных задач транспорта.

В данном научном направлении в различных странах проводятся исследования, анализ которых показал следующее:

1 Российский опыт развития макроэкономических систем железнодорожных пассажирских перевозок имеет направление создания сценарного описания на уровне модели последствий и рисков при создании нового продукта транспортных услуг, который напрямую связан с приобретением, модернизацией и использованием вагонов, электро- и дизель-поездов с учетом сложившихся видов сообщений и класса обслуживания, потребностей пассажиров [1–3].

2 Опыт стран ЕС показал эффективность параметрического моделирования при управлении процессом формирования оптимального парка транспортных средств железнодорожных пассажирских компаний и оптимального развития технологической их базы для технической эксплуатации [4, 5].

3 Опыт Белорусской железной дороги, основным результатом которого является обеспечение исправными транспортными средствами пассажирских перевозок с интеграцией приобретения новых вагонов, электро- и дизель-поездов для замены устаревших и для расширения нового пассажирского формата выполнения перевозок пассажиров [6–9]. Важным элементом этой стратегии является модернизация и продление сроков эксплуатации вагонов сверх установленных сроков. К этому опыту имеется противоречивое отношение: вагоны для поездов с локомотивной тягой используются в основном в международном сообщении, что требует их высокой надёжности и нормативных сроков эксплуатации (в фирменных поездах и бизнес-классе не более 15 лет); не до конца проработан вопрос об использовании вагонов в поездах различного функционального назначения (дневных, ночных и т. д.); значительным влияющим параметром на структурное содержание пассажирских вагонов является неравномерность перевозок по периодам года.

С учётом вышеизложенного методика параметрической оценки и регулирования макроэкономических пассажирских систем включает [6]:

– решение дискретной динамической задачи, которая содержит все векторы управляемых параметров, определяемых государственной политикой в области пассажирских перевозок;

– выявление зависимости параметров пассажирской системы от состояния вагонного парка;

– исследование свойств структурной устойчивости пассажирской системы железнодорожных перевозок в зависимости от состояния её элементов;

– выбор вариантов выполнения условий устойчивости пассажирской системы при различных внешних возмущениях (изменение пассажиропотока, геополитических условий, платежеспособности населения и др.).

Для параметрической идентификации большеразмерных моделей пассажирской системы железнодорожных перевозок используется следующий алгоритм:

– оценка ранее неизвестных параметров, при которых достигается минимальное значение функции экономических потерь железной дороги от пассажирских перевозок;

– выделение ограничений при изменении параметров системы в условиях изменения структуры вагонного парка с учетом новой технологии выполнения перевозок пассажиров.

Поведение системы пассажирских перевозок хорошо описывается функцией многих переменных с использованием евклидова пространства с ограничениями, накладываемыми как на начальные, так и на искомые значение переменных. Например, накладываются ограничения на использование вагонов в поездах с локомотивной тягой по технологии перевозочного процесса (начальное ограничение) и количество используемых вагонов различного класса (конечное ограничение). Варианты использования вагонов различного типа для пассажирских перевозок определяются потребностями пассажиров в оказании транспортных услуг требуемого качества (рисунок 4).

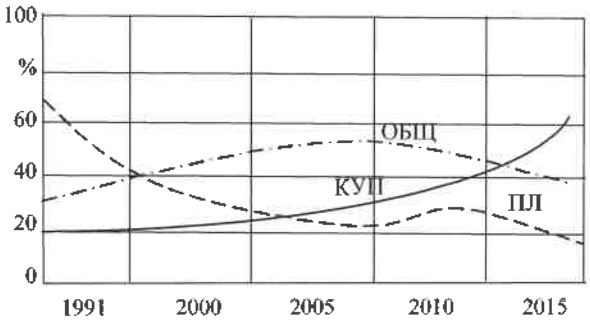


Рисунок 4 – Диаграмма изменения потребности в транспортных услугах различного качества

Из приведенной диаграммы видно, что возрастает потребность у пассажиров проезда в купейном вагоне и значительно падает в плацкартных и общих.

Оценка рассматриваемой области ограничений выполняется с использованием задач параметрической идентификации (1). По каждому виду использования вагонов формируется промежуточное значение возможных параметров, оцениваемый возможным получением доходов от пассажирских перевозок при использовании рассматриваемого парка пассажирских вагонов:

$$D=\prod_{i=1}^{N}[\alpha_j, w_j], \qquad (1)$$

где α_j – количество пассажиров, перевозимых в вагонах класса j; w_j – количество вагонов класса j.

При этом оценки параметров, для которых имеются наблюдаемые значения, находятся в промежутке $[\alpha_j, w_j]$ с центрами, располагаемыми в этих промежутках. Зависимость между α_j и w_j оценивается минимальными значениями непрерывной функции нескольких переменных, интегрированных отображением $K : D \rightarrow E$. Приведенное отображение увязывает капитальные затраты на обновление вагонного парка, доходы и расходы. Для получения правомерного решения задачи изменения структуры вагонного парка различными способами в

зависимости от потребностей качества транспортных услуг может использоваться алгоритм направленного поиска Нелдера – Мида. Использование этого алгоритма для начальных условий $d_0 \in D$ можно интерпретировать в виде (сходящейся к локальному минимуму $d_0 \in \arg\min K$ критерия K последовательности $\{d_0, d_1, d_2, ..., D_k\}$ при условии $K(d_0) \le K(d_k)$, $d_j \in D$, $j=1, 2, 3$.

При описании следующего алгоритма считается, что точка d_j достаточно точно известна. Для решения задачи поиска параметрической идентификации при наличии предположения о несовпадении целей по структуре вагонного парка (купейные, плацкартные вагоны, их качественное состояние и др.) при поиске минимального значения различных функций используются два критерия:

1) в зависимости от пассажиропотока, учитывающего количество пассажиров и протяжённость поездки,

$$K_{Al}(d_j) = \sqrt{\frac{1}{d_{Al}(t_2 - t_1)} \sum_{t_1}^{t_2} \sum_{i=1}^{n_{Al}} \mu_i \left(\frac{y_i(t) - y_i'(t)}{y_i'(t)} \right)^2}; \quad (2)$$

2) в зависимости класса обслуживания пассажиров

$$K(w_j) = \sqrt{\frac{1}{d_{w_j}(t_2 - t_1)} \sum_{t_1}^{t_2} \sum_{i=1}^{n_B} \delta_j \left(\frac{y_i(t) - y_i'(t)}{y_i'(t)} \right)^2}, \quad (3)$$

где $\{t_1, t_2, ..., T\}$ – промежуток времени идентификации потребного вагонного парка; $y_i(t)$, $y_i'(t)$ – расчётное и ожидаемое значения выходных переменных модулей; $[\mu_j, \delta_j]$ – весовые коэффициенты, значения которых определяются в процессе решения задачи параметрической идентификации динамической системы, увязанных с количеством приобретаемых вагонов за период роста доходов $[D_j(t)]$, в соответствиями с потребностями уровня обслуживания пассажиров по классу VIP, бизнес- или эконом-класс. В таком случае $\sum_{i=1}^{N} \alpha_i(t) = d$; $\sum_{i=1}^{N} w_j(t) = d_{w_j}$.

Задача минимизации потерь при изменении структуры парка пассажирских вагонов, решаемая на базе соответствующих критериев $K_{Al}(d)$ и $K_w(d)$ в области D предусматривает решение по параметру (Al) и w_i. При этом рассматривается пассажиропоток j-го класса обслуживания.

Укрупненный алгоритм решения задачи параметрической идентификации модели выполнения пошагового решения [min-max]:

1 Параллельно для вектора начальных значений параметров $d_i \in D$, решаются задачи в зависимости от количества перевозимых пассажиров $(A_i = \sum_{j=1}^{3} \alpha_j)$ и количества вагонов $(W_i = \sum_{j=1}^{3} w_j)$ j-го класса. В результате находятся точки $D_{Al}(0)$ и $D_w(0)$, которые представляют минимальные значения критериев $K_{Al}(d)$ и $K_w(d)$.

2 Если для некоторого достаточно малого числа $E(t)$ верно $K_w(d) \prec 0$, то задача параметрической идентификации модели считается решенной.

3 Если задача не решается, то, используя в качестве начальной точки $d_i(0)$ точку $d_w(0)$, можно найти решение для W_i (приобретение пассажирских вагонов увязывается с классом обслуживания и технологией перевозок, потребностями пассажиров и их покупательной способностью, доходами от перевозок).

С учетом вышеизложенного определяются условия существования решений задачи параметрического регулирования и условий непрерывной зависимости соответствующих оптимальных значений критериев от неуправляемых функций, имеющих место при выполнении пассажирских перевозок. Для получения необходимого решения по вопросам стратегии требуется проведение:

– синтеза оптимальной интеграции функций параметрического регулирования вагонного парка в зависимости от функционального его назначения (по видам сообщения, технологии перевозок или классу обслуживания пассажиров);

– вариационного исчисления оптимальности принимаемых решений.

Задача синтеза оптимальной интеграции функций параметрического регулирования парка транспортных средств пассажирской системы решается с учётом условия, что данная система является управляемой. При этом

$$d(t) = f[z_0(t_0), \omega(t), \alpha(t)], \; t \in [0, T], \quad (4)$$

где t – продолжительность проведения параметрических изменений в структуре парка транспортных средств для пассажирских перевозок; $z_i(t)$ – функция состояния пассажирской системы,

$$z_i(t) = d_0(t_0), d_1(t_1), d_2(t_2), ..., d_m(t_m); \quad (5)$$

$\omega(t)$ – функция управления пассажирской системой (объём перевозок пассажиров),

$$\omega(t) = \omega_1(t_1), \omega_2(t_2), ..., \omega_m(t_m); \quad (6)$$

$\alpha(t)$ – управляющая фазовая переменная пассажирской системой

$$\alpha(t) = \alpha_1(t_1), \alpha_2(t_2), ..., \alpha_m(t_m); \quad (7)$$

$z_0(t_0)$ – начальное состояние структуры пассажирской системы (количество транспортных средств и сроки их эксплуатации). Состояние пассажирской системы оценивается параметрами от нулевого до конечного периода завершения изменения структуры парка пассажирских вагонов.

Решение задачи синтеза заканчивается с нахождением экстремальных значений критерия

$$K(t) = \int_0^T F[t, z_i(t)] dt, \quad (8)$$

где $t, z_i(t)$ – фазовые ограничения функционального развития $t \in T$, $z_i(t) \in Z(t)$; $Z(t)$ – задаваемое множество структурных элементов вагонного хозяйства по пассажирским перевозкам при явных ограничениях на их обеспечение необходимого состояния; $\omega(t) \in \Omega(t)$ – задаваемое множество при явных ограничениях на управление процессом изменения структуры вагонного парка.

Если функция $z_i(t)$ является непрерывной на отрезке $[0, T]$, а $\omega(t)$ компактно в $E_\alpha(t)$, то функция не-

прерывна в $Z\times\Omega\times D(Al)$ и для любого $\sigma\geq 0$, что соответствует неравенству

$$f(z_i,w_i,\alpha_i)-f(z',\omega,\alpha')\leq\sigma|z-z'|\forall t\in\Phi(0,z). \qquad (9)$$

При этом и существует константа, которая определяет ситуацию $\eta\geq 0$, обеспечивающую справедливость неравенства

$$|d,f(z_i,w_i,\alpha_i)|\leq\eta(1+d)\forall t\in(0,T) \qquad (10)$$

при $d\geq E(t)$ $\omega\in\Omega$.

Следует учитывать, что $Z(t)$ – компакт-функция $F(t)$ является непрерывной на $[0,T]\times Z(t)$. Кроме того, отображения $t\to Z(t)$; $t\to\Omega(t)$ являются непрерывными для $t\in[0,T]$ в следующем смысле:

– если справедливы включения $z_k\in Z(t_k)$, $\omega_k\in\Omega(t_k)$, где $t_k\in[0,T], k=1,2,3,...$, и имеет место сходимость последовательностей $t_k\to t, z_k\to z(t), \omega_k\to\omega(t)$, то справедливы включения $z\in Z(t), \omega\in\Omega(t)$. Тогда в случае восполнения множества V_α и выпуклости множества $\Phi_{t.x}$, для всех значений $t\in[0,T], z\in Z(t)$ задача имеет решение по классу измерительных функций.

Задача **вариационного** исчисления оптимальности принимаемых решений:

– рассматривается система, управление которой выбирается из семейства заданных замен регулирования:

$$\omega(t)=G_j(t,v,d^2), \text{ при } t\in[0,T]; j=1,2,..., \qquad (11)$$

где G_j – вектор-функция, связывающая период изменения структуры парков вагонов, управляющие параметры и доходность; $v\in V(t)$ – вектор-управляющие параметры, на которых налагаются ограничения $v\in V(t)$, при $V(t)$ – подмножество K (ремонтная база, линии технического обслуживания, количество поездных бригад проводников, др.).

На приобретение вагонов налагаются ограничения

$$G_j(v,d^2)\in\Omega(t), \text{ при } t\in[0,T]; j=1,2,..., \qquad (12)$$

где $\Omega(t)$ – заданное множество управляющих решений. С учётом ограничений критерий оптимальности принимаемых решений по закупке новых вагонов и их модернизация примет вид

$$K=K_j(\alpha,v)=\int_0^T F(t,z_j)\,dt, \qquad (13)$$

где $x_j(t)\in X_j(t)$ увязывается с решением задачи Коши для заданной функции и закона регулирования [6].

Для получения оптимального результата решается вспомогательная экстремальная задача. С учетом того, что рассматриваемая функция является непрерывной для множеств Ω и V и является компактной, а функции f и G_j непрерывны и для любого $d_j(t)\geq 0$ существуют такие $G_j(t)\geq 0$, $\chi_j(t)\geq 0$, что справедливы неравенства

$$|f(z,\omega,\alpha)-f(z',\omega',\alpha')|\leq\sigma(|z-z'|-\sigma|\omega-\omega'|)\forall t \qquad (14)$$

при $x,x'\in pB$, $u,u'\in U$;

$$|G_j(v,z)-G_j(v,z')|\leq\chi|z-z'|\forall(z,z') \qquad (15)$$

при $v\in V$ и существует константа $\eta\geq 0$, то справедливо неравенство

$$|df[z,G_j(v,z(t),\alpha(t)]|\leq\eta(t+|z|^2)\forall t,d \qquad (16)$$

при $d,\in E$, $v\in V$.

Пусть множества V, Ω, Z компактны, тогда для всех значений на интервале $t\in[0,T]$, а функция F является непрерывной, и задача имеет положительное решение.

С учётом вышеизложенного задача состоит в том, чтобы оптимально рассчитать производственную программу обеспечения необходимыми транспортными средствами пассажирских перевозок в зависимости от видов сообщений и класса обслуживания, т. е. программу, обеспечивающую получение железной дорогой в заданных условиях максимальных доходов от перевозок пассажиров. Практически задача сводится к ответу на следующие вопросы:

– как будет влиять изменение структуры парка пассажирских вагонов на рост или падение объёмов перевозок пассажиров по видам сообщения и классу обслуживания;

– можно ли сгладить зависимость доходов от пассажирских перевозок при сезонном изменении объёмов перевозок пассажиров;

– как организовать эксплуатацию вагонного парка при сезонных изменениях объемов перевозок и потребностей пассажиров в них.

При этом должны быть выполнены внутренние и внешние ограничения, существенно влияющие на условия функционирования пассажирской системы железной дороги. К внутренним ограничениям относятся: постоянная ресурсная база железной дороги по персоналу, технической эксплуатации, топливно-энергетическим и финансовым ресурсам, к внешним, защищающим интересы отрасли, – тарифная политика государства, геополитика соседних государств в области транспорта, платежеспособность населения и др.

С учётом отмеченных ограничений задача решается с использованием математико-экономической модели:

– по внешним поступлениям (внешние влияющие факторы) –

$$\sum\alpha_{mkr}d_{kr}+\sum b_{mlu}d_{lu}+\sum d_{ml}\geq D_m; \qquad (17)$$

– по промежуточным продуктам –

$$\sum\alpha_{nkr}d_{kr}+\sum b_{nlu}d_{lu}+\sum d_{nl}\geq D_n; \qquad (18)$$

– технологические мощности отраслевых предприятий по содержанию парка пассажирских вагонов

$$\sum\alpha_{kr}w(t)_{kr}\leq W(t)_k; \qquad (19)$$

– величина доходов от изменения структуры парка пассажирских вагонов

$$\sum d_{\psi ml}w_{ml}+\sum d'_{\psi nl}w'_{nl}\geq 0; \qquad (20)$$

– выпуск транспортных услуг

$$\sum A(t)_{lu}\,w_{lu}+\sum A(t)_{ml}\,w_{ml}+\sum A(t)_{nl}\,w_{nl}\leq A(t)_l W_l; \qquad (21)$$

– функция цели по финансовым показателям

$$\sum e_{kr} z_{kr} + \sum (e_l - e_m \beta_{mlu}) z_{lu} + \sum (e_l - e_m \beta_{ml}) z_{lu} + \\ + \sum e_l z_{nl} \to \min; \quad (22)$$

– функция цели по объемным показателям

$$\sum (e_l - e_m \beta_{mlu}) z_{lu} + \sum (e_l - e_m) z_{lu} + \sum e_l z_{nl} \to \min. \quad (23)$$

Модель спроса на вагонный парк с учетом сезонности перевозок оказывает существенное влияние на экономику пассажирских перевозок. При исследовании этой проблемы определяющими являются следующие моменты:

1 Основной спрос на транспортные услуги в вагонах определенным образом взаимосвязаны в процессе производства, поэтому проблема сезонности для них должна решаться комплексно на единой основе.

2 Сезонность производства и потребления транспортных услуг характеризуется весьма различными по величине и направленности показателями.

3 Система компенсации является условной и действует в условиях низкого использования услуг в секторе международных перевозок. При этом цены транспортных организаций стимулируют повышение спроса и не поощряют другие виды услуг. В результате возникает противоречие между стоимостными и натуральными критериями работы пассажирской системы.

4 С точки зрения возможностей пассажирской системы задачи предоставлять пассажирам в летний период больше мест в поездах различного уровня обслуживания, а зимой – в другом варианте не являются равноценными. Увеличивать в зимний период объем пассажирских перевозок по видам сообщений и классу обслуживания можно за счёт наличия дифференцированного парка пассажирских вагонов. Обратная процедура – получение летом дополнительного комплекса услуг – значительно сложнее. Производственные возможности пассажирской системы не позволяют в летний период резко повысить выход транспортных услуг. Следует также отметить, что стремление в летний период значительно увеличить ресурс пассажирской системы находится в противоречии с тенденцией повышения их качества, поскольку улучшение качества связано с некоторым увеличением количества транспортных средств. В свою очередь, простой транспортных средств в зимний период приводит к существенному ухудшению годового результата работы пассажирской системы.

Проблему сезонности можно сформулировать следующим образом:

– принять в качестве оптимального существующую низкую эффективность транспортных услуг;

– провести мероприятия по сглаживанию сезонности и увеличению в результате выхода объема транспортных услуг.

Сглаживание может быть осуществлено с помощью сезонного регулирования производства транспортных услуг в определенных пределах, главным образом за счёт содержания резервного парка транспортных средств.

При исследовании проблемы сезонности пассажирских перевозок важно определить:

– оптимальный вариант оказания транспортных услуг пассажирам;

– условия реализации выбранного оптимального варианта в течение года;

– экономическую эффективность мероприятий по реализации оптимального варианта выбранных мероприятий.

Модель решения поставленной задачи по сглаживанию сезонности потребления транспортных услуг пассажирами имеет вид

$$\sum_{r=1}^{R} A(t) w_{rt} \le (AW)_t \text{ при } t = 1, 2, \ldots n. \quad (24)$$

Ограничения по объемам транспортных услуг по сезонам:

– для международного сообщения –

$$\sum_{j=1}^{3} \frac{1}{d_j} y_{j,0} \le V_c; \ \sum_{j=1}^{3} \frac{1}{d_j} y_{j,t} \le V_c + \sum_{\tau=1}^{t} z_{c,\tau}, \quad (25)$$

где t соответствует летнему сезону;

– для внутригосударственного сообщения –

$$\frac{1}{d} y_{j,t} \le V_m + \sum_{\tau=1}^{t} z_{m,\tau}. \quad (26)$$

Производство отдельных транспортных услуг в пассажирской системе с учетом их потребления

$$\sum_{r=1}^{R} \alpha_{j,\tau} w_{r,\tau} \ge \beta_{jt} - y_{j,t-1}; \quad (27)$$

при $j = 2$ имеется повышенный спрос на транспортные услуги:

$$\sum_{r=1}^{R} \alpha_{j,\tau} w_{r,\tau} \ge \beta_{jt} + y_{jt}; \quad (28)$$

при $j = 3$ спрос на услуги понижается.

Распределение доходов и расходов по железнодорожным перевозкам пассажиров по видам сообщений и классу обслуживания показано на рисунке 5.

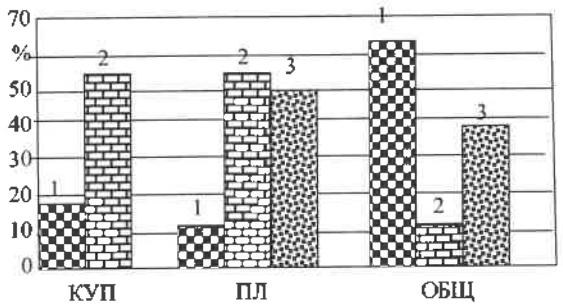


Рисунок 5 – Распределение расходов на выполнение перевозок пассажиров по классу обслуживания:
1 – бизнес; *2* – эконом; *3* – бюджетный

Из приведенного рисунка видно, что при выполнении пассажирских перевозок в зависимости от класса обслуживания максимальные расходы несет железная дорога от обслуживания вагонов бизнес-класса. Если увязывать данную диаграмму с распределением доходов по железнодорожным перевозкам пассажиров по видам сообщений и классу обслуживания, приведенному на рисунке 6, то можно отметить, что имеет место явная убыточность пассажирских перевозок по всем видам и классу обслуживания. Даже фирменный поезд № 1 «Минск – Москва» имеет убыточность 3,54 %.

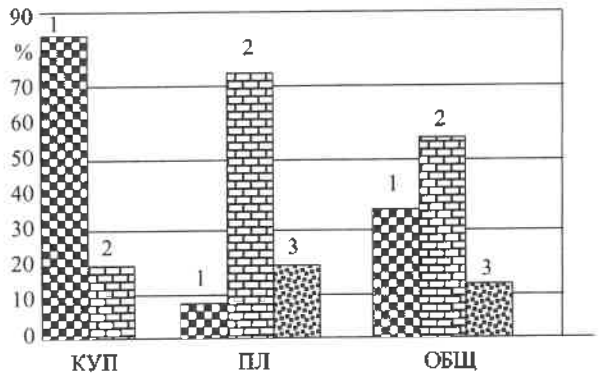


Рисунок 6 – Распределение расходов на выполнение перевозок пассажиров по классу обслуживания: *1* – бизнес; *2* – эконом; *3* – бюджетный

При рассмотрении структур расходов и доходов в расчет включны финансовые результаты по использованию поездов "*Stadler*" для перевозок пассажиров в межрегиональном сообщении по бизнес-классу обслуживания.

С учетом рассматриваемой модели, формализованной в (1)–(25), необходимо изменить подход к формированию структуры вагонного парка для пассажирских перевозок. Опыт изменения структуры парка пассажирских вагонов в соседних государствах показывает необходимость отказа от плацкартных и общих вагонов и переход на купейные вагоны для перевозок в ночной период суток и дальние расстояния в международном сообщении. Внутри государства используются электро- и дизель-поезда повышенной комфортности для межрегиональных перевозок.

Изменяется подход к конструкции купейных вагонов, которые предусматривают схему размещения мест в купе в зависимости от класса перевозки: 1-2-местные для бизнес-класса, 4-местные для бизнес- и эконом-класса и 6-местные для эконом-класса и бюджетной перевозки с дифференцированной платой проезда в зависимости от уровня размещения мест в купе.

Предлагаемый подход к изменению структуры парка пассажирских вагонов определяет стратегию развития пассажирских перевозок не только железной дороги, но и непосредственно производителей вагонов, для которых также разрабатывается программа обеспечения пассажирских перевозок вагонами принципиально новой конструкции.

Выводы:

1 Железнодорожные пассажирские перевозки носят социально значимый характер и являются транспортной услугой массового спроса. Они должны соответствовать уровню покупательского спроса в зависимости от потребностей пассажиров по классу обслуживания.

2 В зависимости от значений параметрической модели вместо замены выработавших эксплуатационный ресурс вагонов формируется программа изменения структуры парка пассажирских вагонов для их использования в ночных поездах, курсирующих в межрегиональном сообщении и во всех поездах международного сообщения.

3 Изменение структуры парка пассажирских вагонов следует увязывать с их производством национальными вагоностроительными заводами с учетом потребностей пассажиров, что обеспечит баланс расходов и доходов от железнодорожных пассажирских перевозок.

4 Учёт интересов пассажиров позволит повысить конкурентоспособность транспортных услуг железной дороги по отношению к другим видам транспорта, что может стать одним из влияющих факторов на рост объёма перевозок пассажиров в международном и межрегиональном сообщениях.

Список литературы

1 **Макарова, Е. А.** Актуальные вопросы организации железнодорожных пассажирских перевозок : [монография] / Е. А. Макарова. – М. : Маршрут, 2006. – 156 с.

2 **Венедиктов, Г. Л.** Об оптимизации поездных схем в пассажирском железнодорожном сообщении / Г. Л. Венедиктов, В. М. Кочетков // Вестник ВНИИЖТ. – 2012. – № 1. – С. 21–26.

3 **Ефимова, О. В.** Актуализация функциональной стратегии управления рисками / О. В. Ефимова, Е. Б. Бабошин // Экономика железных дорог. – 2016. – № 2. – С. 13–18.

4 Zukunftsperspektiven. Eisenbahn in Deutschland 2025 [Электронный ресурс] / Deutsche Bahn AG – Deutsche Bahn AG, 2011. – Режим доступа : http: // www.deutschebahn.com / site / shared / de / dateianhae nge / publikationen__broschueren / zukunftsstudie.pdf. – Дата доступа : 09.08.2018.

5 Macroeconomic analysis and parametrical control of a national economy : scien. public. / A. S. Medwedew [et. al.]. – New York : Springer, 2013. – 288 p.

6 Теория параметрического регулирования макроэкономических систем / А. А. Ашимов [и др.] // Материалы XII Всероссийского совещания по проблемам управления ВСПУ. – 2014. – М., 2014. – С. 2154–2164.

Получено 10.08.2018

A. A. Mikhalchenka, E. P. Gurskiy. Parametric assessment of park renewal factors passenger cars on the Belorussian railway.

A parametric estimation of the prospects for updating the fleet of passenger cars is given, taking into account many influencing factors. Its use will help determine the strategy for providing railroad passenger transport with the minimum use of financial resources for their acquisition and operation. The technique of parametric estimation of the factors affecting the renewal of the passenger car fleet on the railway is considered. The results of calculations using the above model are given.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

УДК 656.2, 656.073, 004.9

А. А. ЕРОФЕЕВ, кандидат технических наук, В. Г. КУЗНЕЦОВ, кандидат технических наук, В. Г. КОЗЛОВ, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; Г. В. ГЛЕВИЦКИЙ, Белорусская железная дорога, г. Минск

ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕДМЕТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ГИС ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕВОЗОЧНЫМ ПРОЦЕССОМ НА БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

Информационно-аналитические модели оперативного управления перевозочным процессом являются основой принятия управленческих решений диспетчерским персоналом и технологами железной дороги. Для повышения качества использования моделей в оперативной деятельности необходимо развивать базу данных об объектах управления на основе использования геоинформационных систем (ГИС) и необходимых для этого ГИС-технологий. ГИС Белорусской железной дороги (ГИС БЧ) является предметно-ориентированной и формируется на основе двух подходов: объектно-ориентированного и процессно-ориентированного, что отражает сетевой характер построения транспортной инфраструктуры и динамический характер перемещения транспортных средств. Решение задач оперативного управления перевозочным процессом реализуется на основе взаимодействия ГИС БЧ с навигационными системами, что обеспечивает определение с необходимой точностью дислокацию и параметры движения поездов, вагонов, грузов, иного подвижного состава, перемещения оперативных работников. Представлены процессно-объектные модели реализации перевозочного процесса на объектах инфраструктуры и управления перемещением транспортных средств. Определены требования и условия использования ГИС-технологий при решении задач перевозочного процесса.

Расширение использования информационно-аналитических моделей оперативного управления перевозочным процессом требует наличия полной и детальной базы данных об объектах инфраструктуры, подвижном составе и постоянного мониторинга изменения их состояния. Новые механизмы формирования банка данных цифровых моделей объектов перевозочного процесса должны основываться на геоинформационных принципах и позволять в оперативном режиме моделировать состояние объектов управления железнодорожного транспорта: железнодорожных станций, узлов, участков, направлений. Для этого необходима унификация требований к содержанию и форме представления информации о цифровых моделях объектов перевозочного процесса Белорусской железной дороги [4, 10, 11].

Решение эксплуатационных задач, связанных с организацией перевозочного процесса, базируются на геоинформационной системе Белорусской железной дороги (ГИС БЧ) общего назначения и средствах ее настройки для решения прикладных задач оперативного управления перевозочным процессом.

Базовая ГИС БЧ должна включать функциональные инвариантные блоки, формирующие **проблемно-ориентированную ГИС** для решения задач оперативного управления перевозочным процессом: ввод графической и параметрической информации об объектах и изменениях их состояния, актуализация базы данных об объектах, хранение и поиск информации, инструментальные средства построения тематического описания предметной области перевозочного процесса, средства для решения прикладных задач оперативного управления.

Проблемно-ориентированная ГИС на основе базовой ГИС БЧ осуществляется путем построения классификатора и моделей объектов предметной области перевозочного процесса, а также включения специализированных программных средств для решения прикладных задач оперативного управления перевозочным процессом.

Проблемно-ориентированная ГИС формируется на основе двух подходов: объектно-ориентированного и процессно-ориентированного.

Объектно-ориентированный подход базируется на представлении в ГИС БЧ каждого объекта предметной области перевозочного процесса в виде классификатора и описания его набором свойств-характеристик. Для описания взаимосвязей между объектами используется специальная единица данных – отношение. Комбинации этих элементов образуют модели объектов и ситуации. Классификатор представляет собой совокупность систематизированных по классификационным признакам исходных единиц информации (слоев, семантических характеристик и объектов предметной области) и их группировок, представляющих обобщенные понятия. Создание модели объектов необходимой предметной области управления перевозочным процессом позволяет адаптировать базовую ГИС БЧ к решению задач оперативного управления перевозочным процессом.

Процессно-ориентированный подход предполагает формирование модели выполнения технологических (управленческих) процессов (операций), направленной на достижение конечной цели решения прикладной задачи оперативного управления перевозочным процессом – завершении задачи в установленные ТНПА (локальными актами) сроки.

Под процессом в общем случае понимается совокупность технологически взаимосвязанных операций в рассматриваемом виде перевозочной деятельности на объекте железнодорожной инфраструктуры, преобразующих входные транспортные потоки в выходные с необходимыми параметрами [7].

Для решения задач оперативного управления эксплуатационной работой процессы следует рассматривать как перемещение множества транспортных потоков на полигоне железнодорожной инфраструктуры, реализуемое в результате определённого технологического процесса (технология работы станции, технология взаимодействия станции и мест необщего пользования, графика движения поездов, системы эксплуатации локомотивов, организации вагонопотоков и иных процессов), то есть совокупности последовательных процессов и операций, выполняемых множеством участников перевозочного процесса [8, 12].

На объектах инфраструктуры (ОИ) под процессом можно также рассматривать и обслуживание транспортного потока без перемещения подвижного состава (техническое, коммерческое, таможенное, пограничное и иное). В этом случае в модели изменяются семантические свойства объектов подвижного состава (ОПС) и их логические отношения с ОИ [5, 6].

Сущность процессно-ориентированного подхода применительно к моделированию перевозочного процесса на инфраструктуре железнодорожного транспорта заключается в систематизации и объединении на полигоне оператора инфраструктуры процессов перемещения (обслуживания) транспортного потока в соответствии с требованиями к параметрам перемещения (обслуживания) заявленного транспортного потока и возможностями инфраструктуры по их пропуску. С позиции процессно-ориентированного подхода перевозочный процесс определяется как упорядоченное во времени и пространстве множество действий (операций) участников перевозочного процесса, связанное с перемещением транспортного потока по инфраструктуре в соответствии с маршрутом его следования и обслуживанием на ОИ.

Использование вышеуказанных принципов построения информационно-аналитической системы позволяет на основе базовой ГИС БЧ реализовать проблемно-ориентированную ГИС оперативного управления перевозочным процессом.

ГИС БЧ должна иметь три функциональных подсистемы: классификатора, информационно-аналитическая, картографическая [1].

Подсистема классификатора – специализированный программный комплекс, предназначенный для ведения классификатора объектов, их семантических характеристик, показателей мониторинга и оперативного контроля ОИ и ОПС на железнодорожном транспорте. Классификатор определяет набор средств для идентификации, описания, структурирования и кодирования всех используемых понятий мониторинга в виде иерархического дерева, что обеспечивает структуризацию информационных ресурсов и позволяет организовать поиск объектов и их характеристик в информационной базе. Классификатор используется в автоматизированных процедурах ввода, хранения, обработки и выдачи всех видов информации, представленных в рамках системы, как в параметрической, так и в картографической формах. Классификатор включает как международные (в рамках МСЖД, ОСЖД, Содружества железных дорог и других объединений) статистические классификаторы и справочники, так и национальные, отраслевые. Подсистема обеспечивает реконструирование классификатора и модификацию базы данных по результатам изменения классификатора.

Информационно-аналитическая подсистема предназначена для поддержки ввода, обработки и представления результатов обработки показателей мониторинга и оперативного контроля состояния ОИ и ОПС. Подсистема обеспечивает: ввод и актуализацию параметрических данных; построение проблемно-ориентированных моделей ввода и отображения; построение фильтров отбора информации на основе классификатора и логических условий; отслеживание динамики исходных и расчетных показателей в заданном интервале с заданными периодами; выполнение расчетов по количественным показателям; отслеживание данных по уровням обобщения классификатора ОИ, ОПС и их характеристик; представление результатов мониторинга в виде таблиц, диаграмм и графиков [3, 5, 8].

Картографическая подсистема предназначена для картографического представления объектов мониторинга. Подсистема обеспечивает: редактирование графической информации; привязку объектов к электронной карте железнодорожного полигона (пути, парка, маневрового или грузового района станции, перегона, железнодорожного участка, района управления ЦУМР, ЦУП и другие); привязку к объектам управления (железнодорожных станций, железнодорожных участков, районов управления, отделений и т.п.) их ситуационных (текущих) планов; многоуровневую визуализацию графической информации; отображение элементов содержания графической составляющей базы данных по тематическим слоям; выборку объектов на плане и получение параметрической справки об объекте инфраструктуры или объекте подвижного состава; формирование дискретных условных знаков и привязку к ним тематической информации; отображение тематической информации с использованием цветовой графики, позволяющее проводить сравнительный анализ количественных характеристик объектов, представленных на электронной карте [2, 3, 9].

ГИС БЧ помогает создать базовую структуру данных для совместного использования участниками перевозочного процесса, предоставляя общее поле ссылки на данные на основе их пространственного местоположения. Этим обеспечивается возможность привязать к местоположению (или к находящемуся в данном месте объекту) любую связанную с ним информацию, извлекать ее и организовать обмен этой информацией.

ГИС БЧ является базой для развития **информационно-аналитических и интеллектуальных систем управления** в сфере организации перевозочного процесса, реализации операций в логистических схемах доставки грузов с использованием железнодорожного транспорта, управления движением и маневровой работой на станциях и участках, мониторинга состояния инфраструктуры и ее эксплуатации, обеспечения безопасности движения и маневровой работы [5, 6].

Создание на железнодорожном транспорте единого координатного пространства и единой системы ведения геопространственных данных (электронных карт) на базе ГИС БЧ позволяет синхронизировать исполнительские процессы контроля состояния ОИ и ОПС с

прикладными задачами оперативного управления перевозочным процессом на основе информационно-аналитических моделей.

Для решения задач оперативного управления перевозочным процессом необходимо взаимодействие ГИС БЧ с навигационными спутниковыми системами GPS (ГЛОНАСС), которое позволяет определить с необходимой точностью дислокацию и параметры движения поездов, вагонов, грузов, иного подвижного состава, перемещения оперативных работников [3, 8].

Создание высокоточного навигационного поля на инфраструктуре Белорусской железной дороги с помощью систем GPS (ГЛОНАСС) позволяет обеспечить непрерывный мониторинг пространственных параметров железнодорожного пути и иных объектов инфраструктуры, контроль безопасности движения поездов и маневровой работы, принятие мер по предупреждению и устранению обнаруженных нарушений.

Приоритетной задачей внедрения навигационных спутниковых технологий на Белорусской железной дороге является создание интеллектуальных систем управления, позволяющих регулировать движение поездов на железнодорожных участках, перемещение вагонов на станциях на основе динамического контроля за состоянием ОИ и ОПС в реальном масштабе времени [12, 13].

Создание интеллектуальных систем управления поездной и маневровой работой позволяет перейти к новому уровню создания информационных систем моделирования и анализа перевозочного процесса для центров управления: перевозками (ЦУП), местной работой (ЦУМР), станциями (ЦУС), безопасностью, мониторинга состояния инфраструктуры. Комплексное использование в автоматизированных системах на железнодорожном транспорте ГИС и GNSS (глобальных навигационных спутниковых систем) обеспечивает достижение синергетического эффекта от ее использования при организации перевозочного процесса.

Основными направлениями использования ГИС и GNSS на железнодорожном транспорте являются [3, 6, 8, 11]:

1) системы:

– интервального регулирования движения поездов с применением спутниковой навигации и цифрового радиоканала;

– регулирования маневровых передвижений на станциях с применением спутниковой навигации и цифрового радиоканала;

– диагностики и мониторинга технического состояния объектов инфраструктуры и подвижного состава;

– безопасности движения поездов с использованием локомотивных устройств безопасности, спутниковых технологий и цифрового радиоканала;

2) технологии:

– оптимального управления подвижным составом в целях ресурсосбережения;

– оптимизации работы путевой ремонтной техники «в окнах» в увязке с управлением поездной работой;

– информационно-управляющих систем ЦУП, ЦУМР, ЦУС на основе объективной информации о движении подвижного состава, состоянии инфраструктуры, получаемой с помощью средств навигации, мониторинга и связи;

– спутникового контроля за перевозками опасных грузов с целью предупреждения рисков возникновения чрезвычайных ситуаций;

– спутникового мониторинга для предупреждения рисков неблагоприятных воздействий на железнодорожную инфраструктуру потенциально-опасных природно-техногенных процессов;

3) высокоточное координатное и планово-картографическое обеспечение на основе применения спутниковой навигации и высокоразрешающей съемки при проведении инженерно-геодезических изысканий при проектировании, строительстве и эксплуатации железной дороги.

При решении задач управления перевозочным процессом данные ГИС могут использоваться на основных этапах управления:

– мониторинг состояния ОИ и ОПС, местонахождения ОПС на ОИ;

– планирование перевозочного процесса (поездной, грузовой и маневровой работы) на ОИ, перемещения ОПС в железнодорожной сети (поездные и маневровые перемещения);

– оперативное адаптивное управление перевозочным процессом на ОИ и использования ОПС.

Процессно-объектная модель реализации перевозочного процесса на ОИ представлена на рисунке 1. На этапе мониторинга осуществляется контроль состояния каждого ОИ из совокупности объектов инфраструктуры $\bigcup O_{\text{ои}j}(\text{П})$ и их характеристик (П), влияющих на эксплуатацию ОИ и принятие управленческих решений при организации перевозочного процесса. Технические характеристики ОИ отражаются в локальных НПА (технических паспортах, технически-распорядительных актах, ведомостях и т.п.).

Оценка состояния ОИ при решении оперативных задач осуществляется по следующим свойствам:

– наличие технических возможностей для осуществления обслуживания транспортного потока, например:

$$\text{П}_{\text{ои}j} = \begin{cases} l_{\text{поп}j} \geq l_{\text{п}j} \\ k_{\text{поп}j} \geq k_{\text{гдп}j} \\ k_{\text{поп}j} \geq k_{\text{пф}j}, \\ \dots \\ N_{\text{н}j} \geq N_{\text{п}j} \end{cases} \quad (1)$$

где $l_{\text{поп}j}, l_{\text{п}j}$ – соответственно длина приемоотправочных путей на j-м ОИ, длина грузового поезда; $k_{\text{поп}j}$, $k_{\text{гдп}j}, k_{\text{пф}j}$ – соответственно наличное число станционных путей на j-м ОИ, число путей, необходимое для пропуска поездов в соответствии с графиком движения поездов, число путей, необходимых для накопления составов по назначениям плана формирования на j-м ОИ; $N_{\text{н}j}, N_{\text{п}j}$ – соответственно наличная и потребная пропускные способности;

– свободность j-го ОИ в обслуживании транспортного потока на момент времени $t_{\text{н},i}$ – времени начала выполнения i-й операции обслуживания на j-м ОИ;

– оперативная готовность j-го ОИ к обслуживанию транспортного потока $R_j(t_{\text{к},i-1})$, устанавливаемая на

момент завершения предшествующей $(i-1)$ операции обслуживания $(t_{к,i-1})$; надежность j-го ОИ может быть определена вероятностью безотказного обслуживания $P_j(n_{обсл})$.

Включение j-го ОИ в технологический цикл $О_{онj}(t_{к,i-1})$ предусматривает установление технической зависимости (механической, электромеханической, программной и иной), связанной с проверкой и включением j-го ОИ в установленную техническим регламентом эксплуатации и технологическим процессом схему обслуживания. Этап реализуется в период времени $(t_{к,i-1}, t_{н,i})$ между окончанием выполнения предшествующей операции $(t_{к,i-1})$ и временем начала последующей $(t_{н,i})$.

В этом интервале необходимо выполнить технические операции диагностики, процедуры технической подготовки схемы обслуживания и соответствия ее техническим требованиям и безопасности.

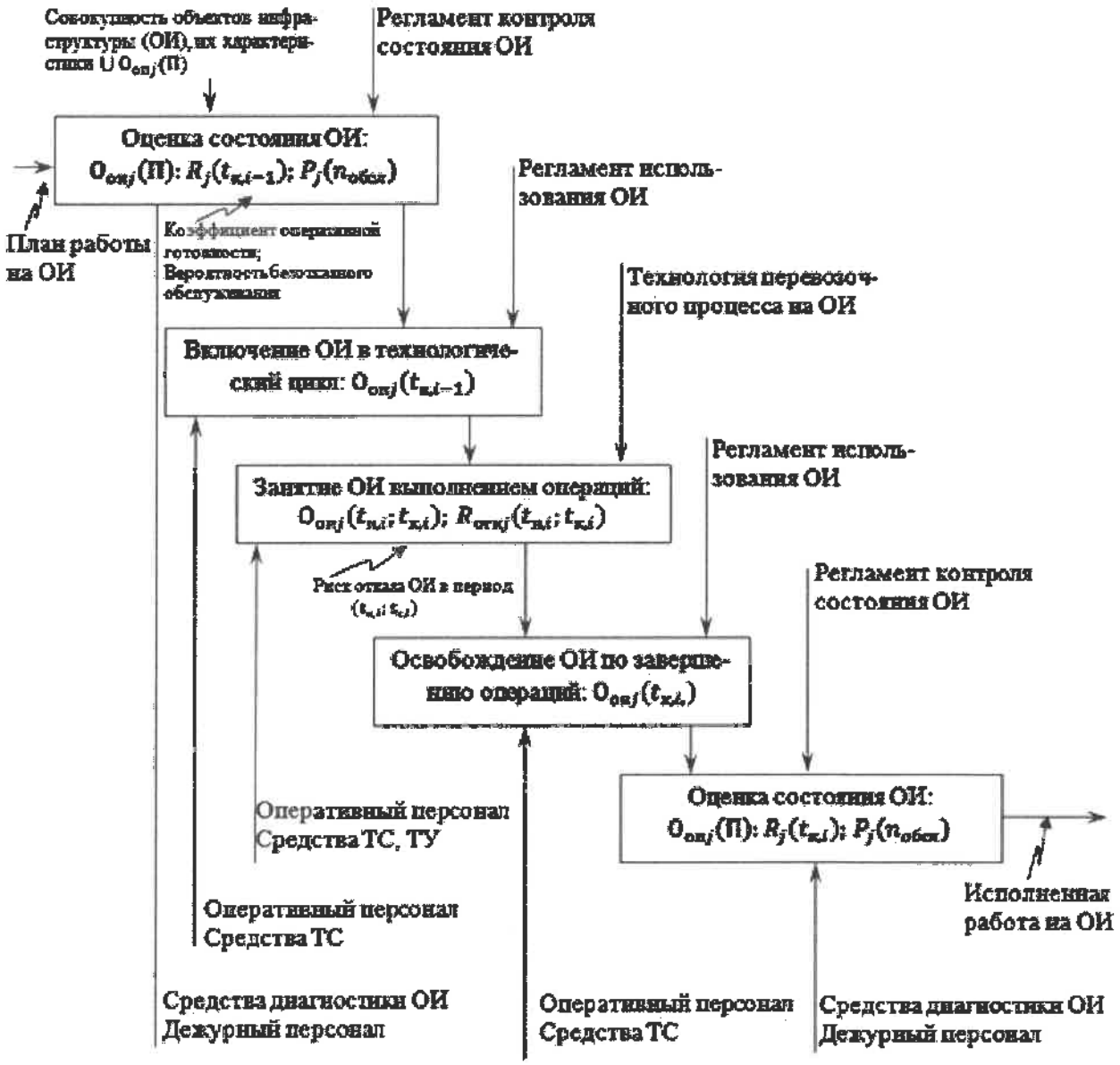


Рисунок 1 – Процессно-объектная модель реализации перевозочного процесса на объекте инфраструктуры (ОИ)

Занятие j-го ОИ выполнением i-й технологической операцией $О_{онj}(t_{н,i}; t_{к,i})$ осуществляется в диапазоне времени $(t_{н,i}; t_{к,i})$ и связан с идентификацией перехода j-го ОИ от состояния свободности в обслуживании к состоянию занятости обслуживанием и от состояния занятости обслуживанием к состоянию свободности в обслуживании, т.е. требуются идентификация двух переходов по установленным координатам, характеризующим занятие (освобождение) j-го ОИ. В процессе занятия j-го ОИ выполнением i-й технологической операцией $(t_{н,i}; t_{к,i})$ существует риск отказа ОИ $R_{откj}(t_{н,i}; t_{к,i})$, увеличивающий продолжительность занятия j-го ОИ на время восстановления ОИ.

Освобождение ОИ по завершению технологической операции $О_{онj}(t_{к,i})$ предусматривает разрыв технической зависимости (механической, электромеханической, программной и иной), связанной с проверкой и исключением j-го ОИ установленным техническим регламентом эксплуатации и технологическим процессом из схемы обслуживания. Этап реализуется в период

времени $(t_{к,i}, t_{н,i+1})$ между окончанием выполнения текущей операции $(t_{к,i})$ и временем начала последующей $(t_{н,i+1})$. В этом интервале необходимо выполнить технические операции диагностики освобождения устройств ОИ, процедуры технической разрыва схемы обслуживания и соответствия ее техническим требованиям работоспособности и безопасности.

Оценка состояния ОИ осуществляется на возможность его дальнейшего использования по результатам текущего выполнения технологической операции на ОИ. Оценка включает проверку по вышеуказанным свойствам. При этом показатели оперативной готовности $R_j(t_к)$ ОИ и вероятность безотказной работы $P_j(n_{обсл})$ должны соответствовать установленному уровню:

$$R_j(t_{к,i-1}) = R_{нj}(T) - \Delta R_{допj}(T);$$
$$R_j(t_к) = R_{нj}(T) - \Delta R_{допj}(T); \quad (2)$$
$$P_j(n_{обсл}) = P_{нj}(n_{обсл}) - \Delta P_{допj}(n_{обсл}),$$

где $R_{нj}(T)$ – нормативное значение коэффициента оперативной готовности ОИ, установленное НПА; $\Delta R_{допj}(T)$ – допустимое отклонение от установленного НПА нормативного значения коэффициента оперативной готовности ОИ; $P_{нj}(n_{обсл})$ – нормативное значение вероятности безотказной работы ОИ, установленное НПА; $\Delta P_{допj}(n_{обсл})$ – допустимое отклонение от установленного НПА нормативного значения вероятности безотказной работы ОИ.

Эксплуатация ОИ при выполнении технологической операции осуществляется на основании следующих процедур:

– регламента контроля технического состояния ОИ;

– регламента использования ОИ при выполнении технологической операции;

– технологии перевозочного процесса на ОИ путем реализации операций обслуживания.

Оценка состояния ОИ на разных этапах его использования при обслуживании транспортного потока осуществляется:

– оперативным персоналом, реализующим управленческие и исполнительские функции по организации перевозочного процесса на станциях и железнодорожных участках;

– дежурным персоналом, выполняющим функции технического обслуживания ОИ;

– средствами телесигнализации (ТС) и телеуправления (ТУ), используемых при управлении технологическими операциями на ОИ;

– средствами диагностики технического состояния ОИ.

Процессно-объектная модель реализации перевозочного процесса при перемещении объектов подвижного состава на объектах инфраструктуры представлена на рисунке 2.

На этапе мониторинга осуществляется контроль дислокации каждого ОПС из совокупности объектов подвижного состава $\cup\, О_{опсz}(П)$ и их характеристик (П), влияющих на использование ОПС и принятие управленческих решений при организации перевозочного процесса. Технические характеристики ОПС отражаются в НСИ и отраслевых НПА, документах на каждый тип подвижного состава. Эксплуатационные характеристики отражают возможности использования подвижного состава для решения задач перевозочного процесса. Коммерческие характеристики отражают права на использование подвижного состава в грузовой и поездной работе на железной дороге и клиентами.

Для планирования перемещения ОПС на инфраструктуре различного уровня агрегации требуется определение в реальном масштабе времени дислокации ОПС на ОИ: $О_{оиz}(П)$: $\{(t_{к,i-1});\ О_{оиj}; S_{ои1}\}$, в результате которого идентифицируется выполнение последней технологической операции с ОПС $(t_{к,i-1})$, объект размещения $(О_{оиj})$ и точка привязки на карте, определяющая координату начала перемещения ОПС на ОИ или в железнодорожной сети $(S_{ои1})$.

Оценка готовности к выполнению технологических операций определяется по техническому состоянию ОПС, которое может быть выражено двумя состояниями:

$$P_{опсz}(t_{к,i-1}; О_{оиj}) = \begin{cases} 1, & \text{готов} \\ 0, & \text{не готов} \end{cases}. \quad (3)$$

Надежность ОПС к началу операции $P_{опсz}(t_{к,i-1}; О_{оиj})$ характеризуется двумя состояниями: работоспособное – обеспечивается беспрепятственное безопасное передвижение ОПС на инфраструктуре; неработоспособное – имеются ограничения на перемещение ОПС по техническому состоянию.

Выполняется контроль завершения предшествующей операции с ОПС: дальнейшее перемещение возможно лишь после завершения предшествующей операции $T_{операz}(t_{н,i-1}; t_{к,i-1})$.

Возможны и иные условия определения возможности перемещения, например коммерческие (возможность использования вагонов под погрузку груза и т.п.).

Формирование маршрута перемещения ОПС на инфраструктуре предусматривает покоординатную идентификацию маршрута на карте (схеме) инфраструктуры от точки 1 до точки n: $О_{оиz}(S)$: $\{(S_{ои1});\ (S_{ои2}); \dots; (S_{оиn})\}$. При формировании маршрута производится оценка свободности всех объектов инфраструктуры или его элементов.

Правильность формирования маршрута определяется путем оценки соответствия выполнения схем перемещения, установленных в технологических процессах железнодорожных станций, планом формирования и графиком движения поездов и других регламентах, устанавливающих направление перемещение и порядок использования путевого развития железных дорог [12].

Выполнение i-й технологической операции перемещения осуществляется в диапазоне времени $(t_{н,i}; t_{к,i})$ и связан с идентификацией перехода z-го ОПС на маршруте следования от точки 1 до точки n, определенных по карте (схеме) инфраструктуры: $\{О_{оиz}(S_{ои1});\ О_{оиz}(S_{ои2}); \dots; О_{оиz}(S_{оиn})\}$. Проследование ОПС по каждому ОИ определяется по переходам от состояния свободности в перемещении (обслуживании) к состоянию занятости перемещением (обслуживанием) и от состояния занятости перемещением (обслуживанием) к состоянию свободности в перемещении (обслуживании), т.е. требуются идентификация двух переходов по установленным координатам, характеризующим занятие (освобождение) j-го ОИ обслуживанием в перемещении ОПС.

В процессе выполнения i-й технологической операцией $(t_{н,i}; t_{к,i})$ перемещения -го ОПС на маршруте следования от точки 1 до точки n существует риск сбоя в перемещении ОПС $R_{опсz}(t_{н,i}; t_{кi})$, связанный с увеличением продолжительности занятия j-го ОИ, превышающий нормативное значение:

$$T_{перz}(t_{н,i}; t_{к,i}) = \sum T_{перzj} = T_{zои1} + \dots + T_{zоиn} \geq$$
$$\geq T_{нj}(S) + \Delta T_{допj}(S), \qquad (4)$$

где $T_{перzj}$ – продолжительность перемещения (обслуживания) z-го ОПС на j-м ОИ $(T_{zои1}, \dots, T_{zоиn})$; $T_{нj}(S)$ – технологическая норма затрат времени на перемещение (обслуживание) z-го ОПС на маршруте S $\{(S_{ои1}); (S_{ои2}); \dots; (S_{оиn})\}$; $\Delta T_{допj}(S)$ – допустимые затраты времени на перемещение (обслуживание) на маршруте S, установленное локальными ТНПА.

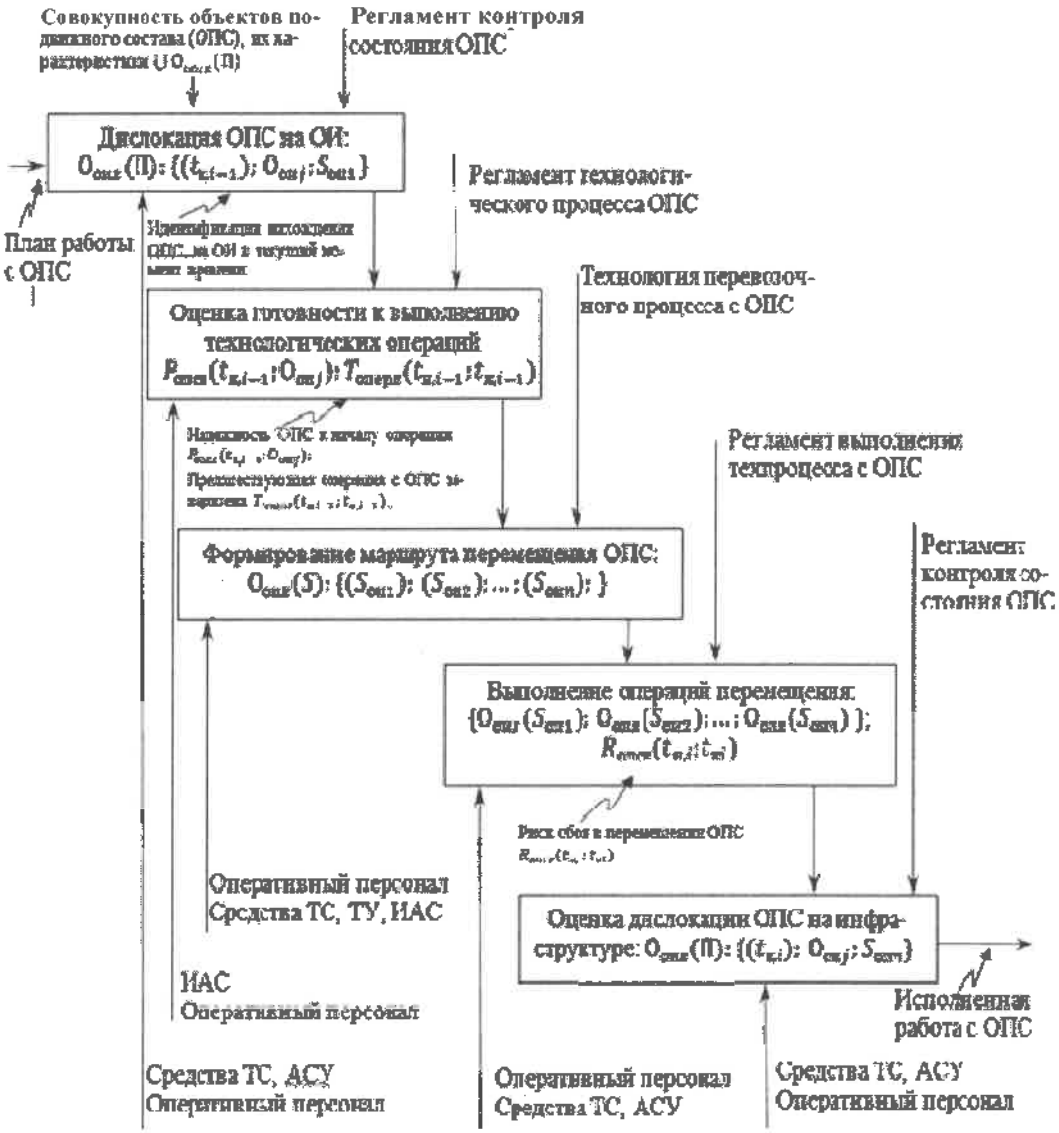


Рисунок 2 – Процессно-объектная модель реализации перевозочного процесса с объектами подвижного состава (ОПС) на объектах инфраструктуры (ОИ)

Оценка выполнения технологической операции перемещения z-го ОПС определяется дислокацией ОПС на инфраструктуре: $O_{оиz}(П)$: $\{(t_{к,i})$; $O_{оиj}$; $S_{оиn}\}$, идентифицирующей достижение конечной точки перемещения (обслуживания) на маршруте $S_{оиn}$ в интервале времени $T_{перz}(t_{н,i}; t_{к,i})$.

В результате выполнения i-й технологической операции перемещения должна быть обеспечена надежность ОПС $P_{опсz}(t_{к,i}; O_{оиn})$, которая характеризуется двумя состояниями: работоспособное – обеспечивается дальнейшее беспрепятственное безопасное передвижение ОПС на инфраструктуре; неработоспособное – имеются ограничения на дальнейшее перемещение ОПС по техническому состоянию по условию (3).

По завершении -й технологической операции перемещения ОПС выполняется контроль: дальнейшее перемещение возможно лишь после завершения операции $T_{оперz}(t_{н,i}; t_{к,i})$.

Возможны и иные условия определения завершения перемещения (обслуживания).

Эксплуатация ОИ при выполнении технологической операции осуществляется на основании следующих процедур:

– регламента контроля технического состояния ОПС;

– регламента дислокации ОПС на ОИ;

– технологических процессов выполнения грузовых и коммерческих операций с ОПС;

– регламента контроля выполнения технологических операций с ОПС;

– регламента технического обслуживания ОПС;

– технологии процесса перемещения (обслуживания) ОПС на ОИ, установленной в ТНПА железнодорожного транспорта общего и необщего пользования.

Оценка состояния ОИ на разных этапах его использования при обслуживании транспортного потока осуществляется:

– оперативным персоналом перевозчика, оператором инфраструктуры, клиентами, собственниками вагонов, реализующим управленческие и исполнительские функции по организации перевозочного процесса на станциях и железнодорожных участках;

– техническим персоналом, выполняющим функции технического обслуживания ОПС;

– средствами телесигнализации (ТС) и телеуправления (ТУ), используемыми при управлении технологическими операциями на ОИ;

– средствами диагностики технического состояния ОПС;

– информационно-аналитическими системами (ИАС);

– автоматизированными системами управления при организации поездной, грузовой и маневровой работы.

Вывод. Применение проблемно-ориентированной ГИС БЧ позволяет решать многие задачи оперативного управления перевозочным процессом на основе точного позиционирования объектов инфраструктуры в железнодорожной сети и контроле перемещения подвижного состава в реальном масштабе времени.

Проблемно-ориентированная ГИС на железной дороге формируется на основе объектно-ориентированного и процессно-ориентированного подходов, которые позволяют идентифицировать состояние каждого из множества объектов инфраструктуры и подвижного состава и определять их характеристики и параметры на любом этапе оперативного управления: мониторинга, планирования и регулирования.

Информационно-аналитические модели оперативного управления, построенные на основе ГИС-технологий обеспечивают новый уровень принятия решения для работников ЦУП, ЦУМР, железнодорожных станций за счет высокоточной оценки состояния объектов инфраструктуры и подвижного состава.

Список литературы

1 **Ананьев, Ю. С.** Геоинформационные системы : учеб. пособие / Ю. С. Ананьев. – Томск : Изд. ТПУ, 2003. – 70 с.

2 Особенности инновационной технологии модернизации пути /А. А. Борецкий [и др.] // Железнодорожный транспорт. – 2015. – № 11. – С. 33–35.

3 ВНИИАС. Управление и контроль транспортных средств различного назначения с применением спутниковых навигационных систем, систем цифровой связи и дистанционного зондирования. – Режим доступа : http://www.vniias.ru/control-and-supervision-of-various-vehicles. – Дата доступа : 17.05.2018.

4 Государственная программа развития транспортного комплекса Респ. Беларусь на 2016–2020 годы : [утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 28 апреля 2016 г. № 345] // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 07.05.2016, 5/42042.

5 **Ерофеев, А. А.** Семиотическая модель перевозочного процесса и ее использование при проектировании интеллектуальных систем / А. А. Ерофеев // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2017) : тр. Шестой науч.-техн. конф. – М. : ОАО «НИИАС», 2017. – С. 24–26.

6 **Erofeev, A. A.** Railway traffic management system with the intellectual control / A. A. Erofeev // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем : материалы междунар. науч.-техн. конф. / редкол. : В. В. Голенков [и др.]. – Минск : БГУИР, 2018. – С. 321–324.

7 **Репин, В. В.** Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов / В. В. Репин, В. Г. Елиферов. – М., 2013. – 544 с.

8 **Ротенберг, И. Н.** Интегрированная система управления железной дорогой с применением спутниковых технологий / И. Н. Ротенберг, О. В. Тони, В. Я. Цветков // Транспорт Российской Федерации. – 2010. – № 6. – С. 54–57.

9 **Сафроненко, А. А.** Разработка онтологии инфраструктуры железных дорог как основы эффективной информатизации подразделений / А. А. Сафроненко // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. – 2013. – № 1 (26). – С. 59–62.

10 Стратегия инновационного развития транспортного комплекса Республики Беларусь до 2030 года : [утв. приказом М-ва трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь от 25 февраля 2015 г. № 57-Ц].

11 Цифровая повестка Евразийского экономического союза до 2025 года. – Режим доступа : http://docs.cntd.ru/document/555625953. – Дата доступа : 17.05.2018.

12 **Федоров, Е. А.** Методологические основы реализации планов формирования перевозчиков в графике движения поездов на полигоне инфраструктуры / Е. А. Федоров // Вестник ВНИИЖТ. – 2018. – № 2. – С. 92–97.

13 **Ерофеев, А. А.** Методологические основы реализации планов формирования перевозчиков в графике движения поездов на полигоне инфраструктуры / А. А. Ерофеев, П. М. Дулуб, О. А. Терещенко // Железнодорожный транспорт. – 2018. – № 7. – С. 50–52.

Получено 23.07.2018

A. A. Erofeev, V. G. Kuznetsov, V. G. Kozlov, G. V. Glevitsky. The use object-oriented GIS for solving problems operational management of the transportation process the Belarusian railway.

Information and analytical models operational management the transportation process are the basis for management decisions by dispatching personnel and railway technologists. To improve the quality of models in operational activities, it is necessary to develop a database management objects based on the use geographic information systems (GIS) and the necessary GIS technologies. The GIS of the Belarusian railway is subject-oriented and is formed on the basis two approaches of object-oriented and process-oriented, which reflects the network nature the transport infrastructure and the dynamic nature of the movement vehicles. The solution problems operational management of transportation process is realized on the basis interaction GIS with navigation systems that provides definition with necessary accuracy dislocation and parameters movement trains, cars, loads, other rolling stock, movement of operational workers. Process-object models implementation of transportation process on the object infrastructure and management movement of vehicles on infrastructure objects defining requirements and conditions use GIS-technologies at the decision tasks of transportation process are presented.

УДК 656.025.2

А. А. ЕРОФЕЕВ, кандидат технических наук, П. В. КОВТУН, кандидат технических наук, Т. А. ДУБРОВСКАЯ, старший преподаватель, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ НА СУЩЕСТВУЮЩИХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЛИНИЯХ

Проблема повышения скоростей движения поездов на железной дороге является важной задачей, стоящей перед Белорусской железной дорогой. Одним из направлений повышения скоростей является увеличение норматива непогашенного ускорения либо применение подвижного состава с наклоном кузова. Повысив величину допустимого непогашенного ускорения до 0,9 м/с^2, можно добиться увеличения скорости в среднем на 15 %. Применение подвижного состава с наклоном кузова типа Talgo позволяет увеличить скорость прохождения криволинейных участков на 8–12 % при составных кривых и малых радиусах и около 20 % – при одиночных кривых.

Повышение скоростей движения поездов – одна из важнейших задач совершенствования эксплуатационной работы и развития железнодорожного транспорта во всех индустриальных странах мира. Повысить допустимые скорости – это значит сократить время в пути, улучшить качество услуг и привлечь дополнительный пассажиропоток на железнодорожный транспорт.

Повышение скоростей может быть реализовано несколькими способами:

- строительством новых линий;
- реконструкцией существующих железных дорог;
- применением улучшенного подвижного состава.

Опыт строительства и эксплуатации железнодорожного транспорта показывает, что реконструкция существующих железнодорожных линий со смешанным движением грузовых и пассажирских поездов позволяет поднять скорости до 200–250 км/ч. Для достижения более высоких скоростей целесообразно сооружение специализированных высокоскоростных магистралей.

Для эффективного повышения скоростей на существующих железнодорожных линиях нужна и новая нормативная база. Например, норматив непогашенного ускорения на Белорусской железной дороге в настоящее время принят равным 0,7 м/с^2. На сегодняшний день после исследований ВНИИЖТа совместно с Центром подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина, на некоторых линиях он повышен до 0,9 м/с^2. А для поездов «Ласточка» это повышение составляет 1 м/с^2, для вагонов «Тальго» и локомотива ЭП20 – 1,1 м/с^2 [5]. Это означает, что повышение скорости пассажирских поездов возможно без многомиллиардных вложений в инфраструктуру [9].

Реконструкция участка железной дороги для повышения скоростей подразумевает: увеличение радиусов кривых малого радиуса в соответствии с намеченными максимальными скоростями движения пассажирских поездов; замену составных кривых на однорадиусные кривые; удлинение переходных кривых и прямых вставок; вынос из кривых стрелочных переводов, расположенных на главных путях; замену на главных путях обычных стрелочных переводов на скоростные; реконструкцию искусственных сооружений или строительство новых сооружений в связи со сдвижкой пути при переустройстве его плана; расширение или перенос пассажирских платформ; реконструкцию пешеходных мостов и тоннелей; усиление и реконструкцию систем сигнализации и связи; техническое перевооружение и замену устройств систем автоматики и телемеханики; реконструкцию устройств тягового электроснабжения; устройство пересечений в разных уровнях на пересечениях с автодорогами, ограждение линии и другие мероприятия, связанные с обеспечением безопасности движения поездов и многое другое. Зачастую, увеличение скоростей движения сдерживает план линии. Практически все железные дороги на постсоветском пространстве проектировались еще в начале XX века, где с целью уменьшения объемов земляных работ применялись, в основном, кривые малых радиусов, которые и сдерживают повышение скоростей движения.

Максимальная скорость движения поезда в кривой зависит от центробежных сил во взаимодействии подвижного состава и пути, которые в свою очередь определяют устойчивость подвижного состава против опрокидывания, поперечную нагрузку на путь, уровень комфорта для пассажиров и сохранность груза. Первые два критерия непосредственно относятся к безопасности движения поездов, третий и четвертый – к качеству пассажирских и грузовых перевозок.

Для нейтрализации центробежной силы в кривых наружный рельс укладывают с некоторым возвышением относительно внутреннего.

Центробежная сила, действующая в кривой, за счет возвышения наружного рельса может быть погашена полностью, частично или даже чрезмерно (при этом результирующая сила действует в сторону внутреннего рельса). На практике для таких случаев в зависимости от степени компенсации центробежной силы используют понятия достаточного, недостаточного и избыточного возвышения.

Зная о воздействии центробежной силы, учитывая накопленный опыт, устанавливаются допустимые значения на геометрические параметры пути, в частности, на максимально допустимую величину возвышения наружного рельса в кривых и предельно допустимое значение непогашенного ускорения, при которых обеспечиваются достаточные уровень комфорта для пассажиров и сохранность грузов.

Целью данного исследования является повышение скоростей движения поездов на существующих линиях в круговых кривых без переустройства плана. Достижение поставленной цели рассматривается двумя путями:

– изменением предельной величины непогашенного ускорения при движении пассажирских поездов с 0,7 до 0,9 м/с^2 при безусловном соблюдении требований по безопасности и комфортабельности движения;

– применением нового подвижного состава с наклоном кузова, для более быстрого прохождения криволинейных участков пути.

Экспериментальными исследованиями установлено, что длительное и повторное воздействие непогашенного центробежного ускорения величиной до 0,9 м/с^2 включительно большинство людей переносит удовлетворительно [7]. Непогашенное центробежное ускорение, равное 1 м/с^2, переносится удовлетворительно при немногократных и непродолжительных воздействиях.

Таким образом, увеличение непогашенного ускорения до 0,9 м/с^2 не окажет существенного влияния на организм пассажиров, но может существенно сэкономить время в пути за счет более быстрого прохождения кривых.

Полученные данные позволяют выполнять расчеты при непогашенном ускорении, равном 0,9 м/с^2, и проанализировать влияние увеличения непогашенного ускорения на скорости прохождения пассажирским поездом кривых различных радиусов.

Исходя из вышесказанного, необходимо рассмотреть, как влияет изменение величины непогашенного ускорения в кривых до 0,9 м/с^2 на скорость прохождения и радиус кривой.

Согласно СТП [9], непогашенное ускорение в кривых определяется по формуле

$$a_{нп} = \frac{v_{max}^2}{3,6^2 R} - \frac{g}{s} h, \qquad (1)$$

где v_{max} – максимальная скорость движения по данной кривой, км/ч; R – радиус кривой, м; g – ускорение свободного падения (9,81), м/с^2; s – ширина между осями рельсов (1600), мм; h – возвышение наружного рельса, мм.

Тогда путем преобразований h можно выразить как:

$$h = 12,5\frac{v_{max}^2}{R} - 163[a_{нп}]. \qquad (2)$$

В качестве опытного участка рассматривается один из перегонов Белорусской железной дороги длиной около 10 км, на котором имеется несколько кривых малого и среднего радиуса (R_1 = 580 м; R_2 = 620 м; R_3 = = 700 м; R_4 = 720 м). Формула (3) показывает, какая максимальная скорость теоретически допускается на данном криволинейном участке пути:

$$v = 4,6\sqrt{R}. \qquad (3)$$

В практике все скорости по кривым устанавливаются приказом начальника дороги [8] и зависят от многих факторов (наличия населенного пункта, состояния верхнего строения пути и т.д.). Реконструкция плана линии заключается в увеличении радиусов кривых и их переустройстве. Данное мероприятие длительное и дорогостоящее.

С целью увеличения скоростей на существующих железнодорожных линиях (без изменения геометрии плана) на первом этапе рассчитывается возвышение наружного рельса исходя из заданных радиусов и скоростей движения поездов по приказу начальника дороги (таблица 1).

Таблица 1 – **Зависимость $h = f(R)$ при $a_{нп}$ = 0,7 м/с^2**

Радиус, R, м	580	620	700	720
Максимальная скорость движения v_{max}, км/ч	75	80	90	95
Возвышение наружного рельса h, мм	7	15	31	43

По полученным значениям строится график зависимости $h = f(R)$ при $a_{нп}$ = 0,7 м/с^2 (рисунок 1).

Из формулы (2) выражается значение скорости:

$$v_{max} = \sqrt{\frac{(h + 163a_{нп})R}{12,5}}. \qquad (4)$$

Увеличив в формуле (3) значение непогашенного ускорения с 0,7 м/с^2 до $a_{нп}$ = 0,8…0,9 м/с^2, на втором этапе можно получить новые значения скоростей.

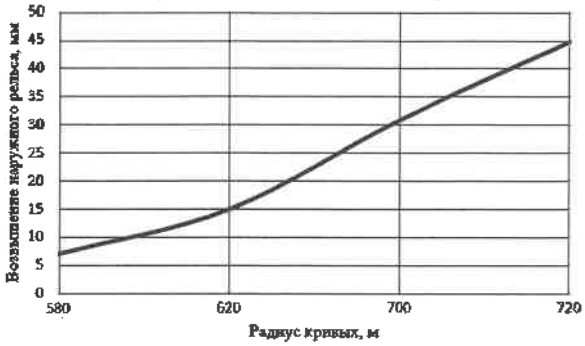


Рисунок 1 – График зависимости возвышения наружного рельса от радиуса кривой

Полученные значения скоростей при постоянном радиусе, возвышении наружного рельса и различном непогашенном ускорении сведены в таблицу 2, по результатам которой построен график зависимости v_{max} = = $f(a_{нп})$ (рисунок 2).

Таблица 2 – **Скорость прохождения кривых при различном непогашенном ускорении, км/ч**

Непогашенное ускорение, м/с^2	Радиус, м			
	580	620	700	720
0,7	75	80	90	95
0,8	80	85	95	100
0,9	84	90	100	104

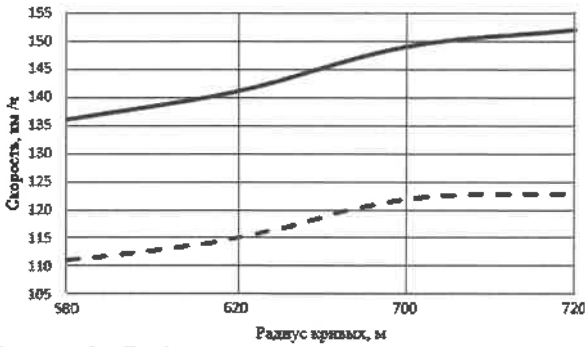


Рисунок 2 – График зависимости максимальной скорости движения от величины непогашенного ускорения

Из графика видно, что увеличение непогашенного ускорения до 0,9 м/с^2 ведет к повышению скорости прохождения криволинейных участков пути в среднем на 15 %, что позволит существенно сэкономить финансы без переустройства плана линии. При этом, увеличивая значение непогашенного ускорения до 0,9 м/с^2, можно уменьшить высоту возвышения наружного рельса в кривой, без изменения скорости прохождения пассажирским поездом криволинейного участка пути (при условии $h > 0$).

Еще одним из вариантов поднятия скоростей на существующих дорогах является применение подвижного исследования и опыт эксплуатации подвижного состава. Наиболее рациональные значения угла наклона кузова для таких поездов лежит в пределах от 2 до 8° [10].

С учетом дополнительного угла наклона формула (4) примет вид [11]

$$v_{max} = \sqrt{R(a_{нп} + g\,\mathrm{tg}(\alpha + \beta))}, \qquad (5)$$

где $\alpha = \arcsin(h / s)$; β – дополнительный угол наклона кузова подвижного состава.

С учетом всех известных данных (h = 150 мм, s = = 1600 мм, $\beta = 6^{\circ}$), формула (5) примет вид

$$v = 5{,}6\sqrt{R}\,. \qquad (6)$$

Определим, как изменится скорость прохождения кривых на участке при введении подвижного состава с наклоном кузова (таблица 3, рисунок 3).

Таблица 3 – **Зависимость $v = f(R)$, км/ч, при $a_{нп}$ = 0,7 м/с^2, $\beta = 6^{\circ}$**

Радиус, R, м	580	620	700	720
Обычный подвижной состав	111	115	122	123
Подвижной состав с наклоном кузова	136	141	149	152

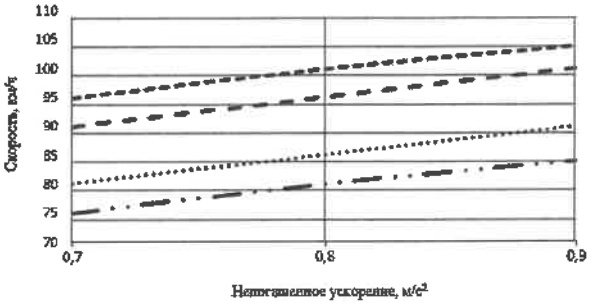


Рисунок 3 – График зависимости $v = f(R)$, км/ч, при обычном подвижном составе и составе с наклоном кузова

Из графика видно, что скорость прохождения криволинейного участка пути увеличивается до 20 % при составных кривых и малых радиусах. Одиночные кривые такой поезд может проследовать со скоростью, на 30–40 км/ч больше, чем обычный. Его особенность – в скорости, раздвижных колесных парах и комфорте. Помимо раздвижных колесных пар, для смены ширины колеи при переходе с широкой на узкую европейскую колею, вагоны оснащены системой наклона кузова для более комфортного прохождения кривых участков пути.

Рассмотренные в статье способы повышения скоростей движения на существующих линиях актуальны и эффективны. Увеличением дополнительного непогашенного ускорения с 0,7 до 0,9 м/с^2 можно в зависимости от радиуса криволинейного участка повысить скорости в кривых участках пути на 10–20 км/ч (таблица 4).

Таблица 4 – **Изменение времени хода при увеличении непогашенного ускорения и при применении подвижного состава с наклоном кузова (участок Красное – Минск Бел. ж. д.)**

Радиус кривой, м	>1600	1599 – 1200	1199 – 700	До 699	Время в пути (260 км)
Длина участка, км	32	5,8	24,7	15,4	
	Максимальные скорости, развиваемые при прохождении кривых v_{max}, км/ч				
$a_{нп}$ = 0,7 м/с^2	184	183	158	121,6	3 ч 24 мин
$a_{нп}$ = 0,8 м/с^2	189	188	164	125,2	3 ч 13 мин
$a_{нп}$ = 0,9 м/с^2	196	195	169	128,8	3 ч 01 мин
Подвижной состав с наклоном кузова «Стриж» (Talgo) (угол наклона 6°)	224	223	194	160	2 ч 15 мин

Таким образом, скорости движения пассажирских поездов при прохождении существующих кривых, без изменения возвышения наружного рельса при минимальных капиталовложениях можно изменять только за счёт увеличения допускаемого значения непогашенного ускорения. Применение подвижного состава с наклоном кузова также позволит сократить время пассажиров в пути, не изменяя условиям комфортабельности и безопасности езды пассажиров.

В настоящее время, в связи с тем, что на участке Красное – Минск – Брест Белорусской железной дороги транзитом проходят поезда российского формирования «Стриж», состоящие из вагонов типа Talgo с наклоном кузова, кафедрой «ПСиЭТО» БелГУТа проводятся исследования по определению влияния увеличенного допускаемого значения непогашенного ускорения [$a_{нп}$] до 1,1 м/с^2.

Список литературы

1 **Шахунянц, Г. М.** Железнодорожный путь : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / Г. М. Шахунянц. – М. : Транспорт, 1969. – 536 с.

2 **Карпущенко, Н. И.** Возвышение наружного рельса и допускаемые скорости движения поездов в кривых [Текст] / Н. И. Карпущенко // Проблемы повышения скоростей движения поездов на Транссибирской магистрали : сб. науч. тр. – Новосибирск, 1999. – С. 7–15.

3 **Курган, Н. Б.** Определение объемов работ для снятия ограничений скорости, связанных с планом линии / Н. Б. Курган, Н. П. Хмелевская, С. Ю. Байдак // Сб. науч. тр. Дальневосточного гос. ун-та путей сообщения / под ред. В. С. Шварцфельда. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2014. – Вып. 2. – С. 52–62.

4 **Смелянский, И. В.** Совершенствование нормативов непогашенного ускорения и его приращения для современного подвижного состава при скоростном движении : автореф. дис. … канд. техн. наук : 05.22.06 / И. В. Смелянский : Моск. ин-т инж. ж.-д. трансп., 2008. – 208 с.

5 О внесении дополнения в приказ от 02.07.2013 № 231Н. БелЖД от 03.03.2018 № 206НЗ.

6 Движением сразу нескольких поездов мог бы дистанционно управлять машинист-оператор [Электронный ресурс] // Гудок / АО «Издательский дом «Гудок». – 2012. – Режим доступа : http://www.gudok.ru/mechengineering/?ID=1368047. – Дата доступа : 22.08.2018.

7 Эффект ускорения [Электронный ресурс] // Гудок / АО «Издательский дом «Гудок». – 2012. – Режим доступа: http://www.gudok.ru/newspaper/?archive=2012.05.15. – Дата доступа : 29.08.2018.

8 Об установлении допускаемых скоростей движения поездов на Белорусской железной дороге : приказ Белорусской железной дороги от 02 июля 2013 г. № 231Н. – Минск, 2013.

9 Текущее содержание железнодорожного пути. Технические требования и организация работ. Стандарт организации : СТП 09150.56.010–2005. – Введ. 2006–07–01. – Минск, 2006. – 284 с.

10 Поезда с наклоняемыми кузовами для скоростного пассажирского движения / В. И. Омельяненко [и др.] // Локомотив-информ. – Харьков : Техностандарт, 2008. – № 5. – С. 12–17.

11 **Ерицян, Б. Х.** Критерии и ограничения для определения угла наклона кузова скоростного электроподвижного состава / Б. Х. Ерицян // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харьков, 2016. – № 2. – С. 52–60.

Получено 19.10.2018

A. A. Erofeev, P. V. Kovtun, T. A. Dubrovskaya. Problems of increasing trains rate on existing railway lines.

The problem of increasing train speeds on the railway is an important task facing the Belarusian railway. One of the ways to increase speeds is to increase the standard of acceleration due to the use of rolling stock with a tilt of the body. Increasing the value of the permissible unpaid acceleration to 0.9 m/s^2 can increase the speed by an average of 15%. The use of rolling stock with a tilting body type Talgo allows you to increase the speed of passage of curved sections by 8–12% with composite curves and small radii and about 20% with single curves.

УДК 656.222.3

А. Б. МАКРИДЕНКО, Белорусская железная дорога, г. Минск, Т. В. ПИЛЬГУН, кандидат технических наук, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, В. Г. КУЗНЕЦОВ, кандидат технических наук, И. М. ЛИТВИНОВА, М. Ю. СТРАДОМСКИЙ, магистр технических наук, В. Г. КОЗЛОВ, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОЦЕНКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ВАГОНОПОТОКОВ НА ТЕХНИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Технические станции рассматриваются как важный объект инфраструктуры железнодорожного транспорта, который обладает значительными ресурсами, необходимыми для переработки вагонопотока. Дана системная оценка параметров, определяющих роль технической станции в системе организации вагонопотоков на железнодорожном транспорте Республики Беларусь. Установлено распределение эксплуатационной работы на железнодорожных станциях исходя из основных признаков переработки вагонопотока: объемов, структуры вагонопотока, поездопотока, назначений плана формирования. Рассмотрены особенности ранжирования железнодорожных станций исходя из классификационных признаков участия в системе организации вагонопотока. Представлены подходы к оценке распределения работы между техническими станциями с учетом развития рынка участников перевозочного процесса.

Одной из основных услуг железнодорожного транспорта является организация вагонопотоков в грузовые поезда на железнодорожных станциях. Реализация этой услуги оператора инфраструктуры требует значительных технических, технологических, тяговых, людских и иных ресурсов, которые концентрируются на железнодорожных станциях исходя из системного распределения сортировочной работы при организации перевозочного процесса [1].

Железнодорожные станции, участвующие в организации вагонопотока. На Белорусской железной дороге организация вагонопотоков в грузовые поезда и соответствующее распределение сортировочной работы между железнодорожными станциями транспортной сети осуществляются на основании плана формирования грузовых поездов (ПФП) [3, 4]. В расчете ПФП участвуют технические (сортировочные, грузовые и участковые) станции, а также отдельные промежуточные железнодорожные станции, открытые для грузовых операций.

На Белорусской железной дороге 76 железнодорожных станций (30 % от общего количества станций, открытых для грузовых операций) включены в организацию вагонопотоков в грузовые поезда и обеспечивают формирование поездов в соответствии с ПФП. Структурно в зависимости от категории станций в ПФП участвуют: сортировочные – 9, участковые – 10, грузовые – 22, промежуточные – 35.

В общей структуре вагонопотока, пропускаемого на станциях железной дороги (с переработкой и без переработки), на сортировочные станции приходится 41 %, на участковые – 27, грузовые – 19, промежуточные станции – 12 %.

Общий объем переработки на станциях железной дороги растет; ежегодный прирост составляет – 1,6 %. Переработка вагонов на станциях распределяется следующим образом: сортировочные станции – 41, участковые – 21, грузовые – 30, промежуточные – 8 %.

Растет и общий объем работы с транзитными вагонами на станциях железной дороги, ежегодный прирост составляет – 4 %. Объем работы по обслуживанию транзитных вагонопотоков без переработки имеет распределение: сортировочные станции – 39, участковые – 28, грузовые – 14 %.

На сортировочных станциях имеется тенденция увеличения ежегодно объема сортировочной работы на 3 %, на участковых станциях – на 1,4 %, грузовых станциях – на 2,3 %.

Увеличивается на сортировочных станциях ежегодно и объем обслуживания транзитного вагонопотока без переработки на 4 %, на участковых станциях – на 5 %, на грузовых станциях – на 3 %.

За последние 15 лет средний прирост переработки на одной сортировочной горке вагонов составил 37 %. Наличие значительного резерва перерабатывающей способности требует постоянной адаптации системы организации вагонопотока для снижения издержек на переработку.

Ранг железнодорожных станций, участвующих в ПФП, устанавливается по двум факторам: количеству назначений, формируемых на станциях, и объему переработки вагонопотока на станции:

$$R(k_{\text{н}}, n_{\text{пер}}) = \{r_{ij}\}. \quad (1)$$

Ранжирование сортировочных станций по объему сортировочной работы показывает, что объем переработки вагонов на станциях изменяется в диапазоне от 500 до 3000 вагонов в сутки. В диапазоне до 1000 вагонов работают две станции, до 2000 вагонов – шесть станций, до 3000 вагонов – семь станций, свыше 3000 вагонов – одна станция.

Структурно-сетевая схема размещения технических станций на полигоне инфраструктуры характеризуется плотностью размещения и расстоянием между техническими станциями, связанными участковыми назначениями.

Анализ распределения расстояний между техническими станциями показывает высокую плотность размещения станций ($\lambda = 1{,}4$ станции на 100 км эксплуатационной длины железной дороги). Повышение транзитности следования вагонопотока связана с концентрацией работы на минимальном количестве станций, достаточном для поиска рационального решения [2].

Технологическая роль технических станций в системе организации вагонопотоков зависит от уровня участия в формировании грузовых поездов по видам сообщений:

– сквозных (отправительских) назначений в международном сообщении;

– сквозных (отправительских) назначений во внутриреспубликанском сообщении;

– местных поездов (участковых, сборных, вывозных, передаточных) регионального сообщения, входящих в зону обслуживания объединенной (опорной) станции.

Каждая техническая станция выполняет свое технологическое назначение в переработке вагонопотока в зависимости от ПФП [2], поэтому при анализе вариантов перераспределения сортировочной работы между станциями Белорусской железной дороги необходимо учитывать совокупность факторов:

– технологическое назначение технической станции в системе организации вагонопотоков [5];

– устойчивость объемов и структуру вагонопотоков, перерабатываемых на станции [6];

– динамику использования путевых и технических устройств для организации вагонопотока на станции [8];

– уровень интеллектуализации процессов управления на станции [7, 9].

Анализ плана формирования грузовых поездов. Количество назначений, установленных для железнодорожной станции, определяется планом формирования перевозчика:

$$k_{ст} = \sum_{i=1}^{D} k_{нi}\,, \qquad (2)$$

где D – количество перевозчиков, использующих данную станцию для выполнения сортировочной работы в соответствии с собственным ПФП; $k_{нi}$ – количество назначений перевозчика,

$$k_{нi} = \sum_{j=1}^{G} k_{ij} = k_{скв i} + k_{уч i} + k_{отпр i} + k_{техн i} + k_{сб i} \dots, \qquad (3)$$

k_{ij} – количество назначений j-й категории, формируемых на технической станции i-м перевозчиком: сквозных ($k_{скв i}$), участковых ($k_{уч i}$), отправительских ($k_{отпр i}$), технологических ($k_{техн i}$), сборных ($k_{сб i}$) и иных; G – количество назначений, заявленных перевозчиком на технической станции.

Белорусская железная дорога, являясь национальным перевозчиком на инфраструктуре железнодорожного транспорта общего пользования Республики Беларусь, устанавливает назначения грузовых поездов во внутригосударственном сообщении, а также в международном сообщении, которые согласованы с железнодорожными администрациями, причастными к пропуску поездов на своей инфраструктуре. Взаимодействие железнодорожных администраций осуществляется в рамках Содружества железных дорог.

Структура назначений поездов действующего ПФП на основных железнодорожных станциях приведена на рисунке 1.

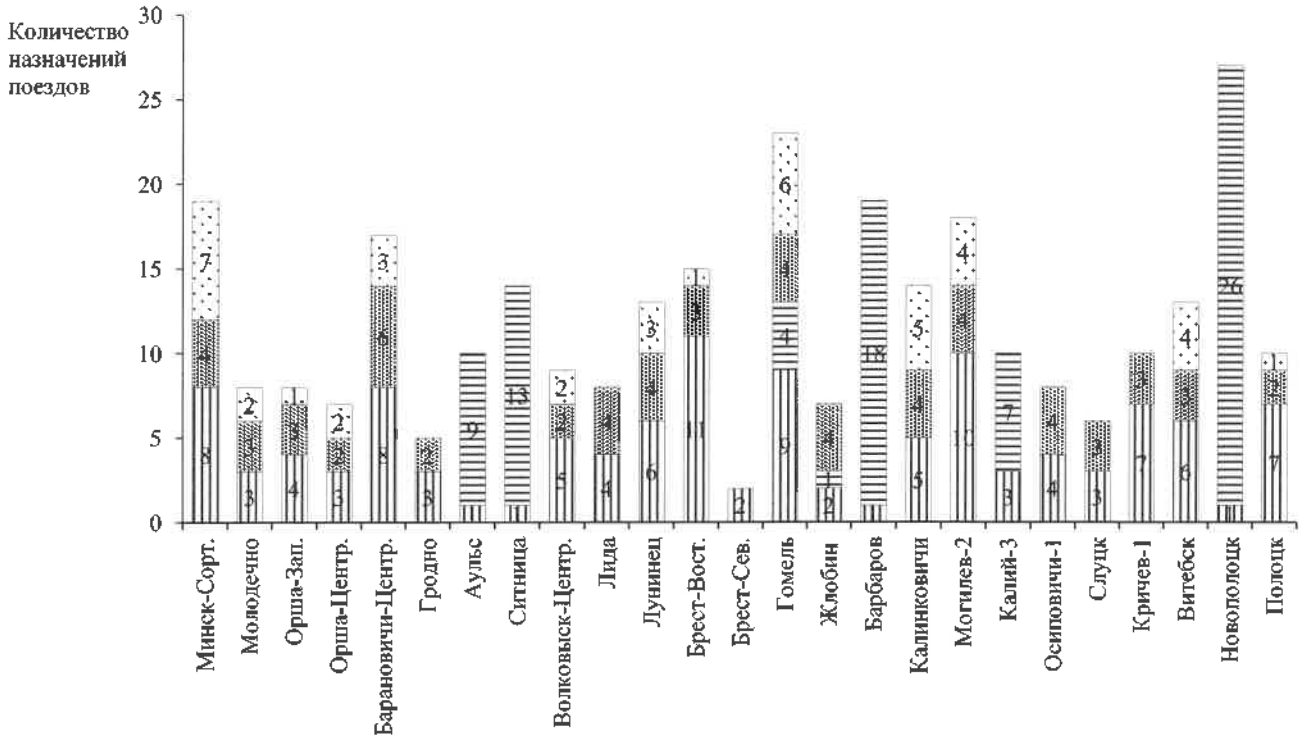


Рисунок 1 – Структура назначений поездов действующего ПФП на основных железнодорожных станциях:
■ – участковые; □ – сквозные; ▨ – отправительские маршруты; ▥ – сборные, вывозные, передаточные, диспетчерские локомотивы.

В действующем ПФП удельный вес сквозных и отправительских назначений составляет около 39 % от общего количества назначений поездов. Количество участковых назначений является наиболее стабильной частью ПФП (составляет 17 % от общего), определяется топологией транспортной сети Белорусской железной дороги и соответствует количеству примыкающих направлений к железнодорожной станции. В отдельных случаях вместо участковых назначений устанавливаются групповые поезда.

Динамика изменения количества назначений сквозных и участковых поездов в ПФП с 2010 по 2017 годы приведена на рисунке 2. Такое распределение характеризует систему организации вагонопотоков на Белорусской железной как двухцелевую – оптимизация ПФП в международном и местном сообщениях.

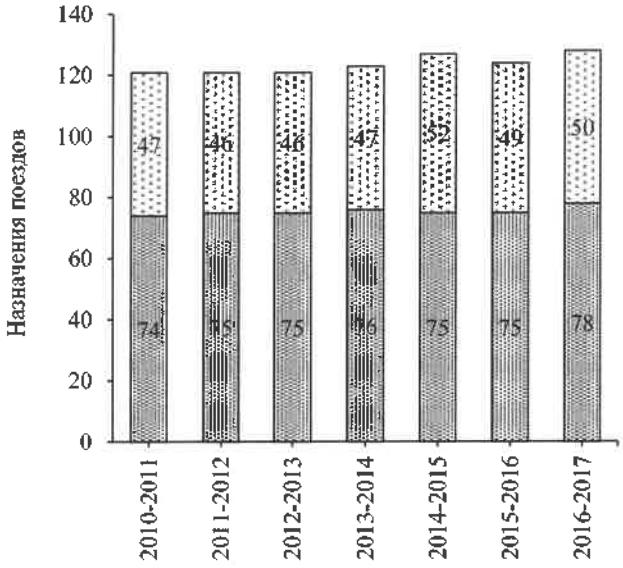


Рисунок 2 – Количество назначений сквозных и участковых поездов в ПФП с 2010 по 2017 годы: ▫ – сквозные; ▫ – участковые

Роль железнодорожной станции в зависимости от формирования поездов по дальности назначения может быть оценена по формированию сквозных и отправительских маршрутов. Наибольшее количество сквозных назначений поездов установлено на станции Минск-Сортировочный (7 назначений), отправительских маршрутов – на станции Новополоцк (26 назначений).

Среднее количество сквозных назначений, приходящееся на одну техническую станцию дороги, составляет два сквозных назначения поездов (на одну сортировочную станцию – в среднем три сквозных назначения поездов), отправительских маршрутов – три назначения поездов. Из сквозных назначений поездов 77 % проходят только одну техническую станцию без переработки.

Средняя дальность назначения сквозного поезда в международном сообщении составляет 288 км (по Белорусской железной дороге – 266 км), при этом поезда проследуют в среднем одну техническую станцию без переработки. Средняя дальность отправительских маршрутов в международном сообщении составляет 649 км (по Белорусской железной дороге – 290 км).

Анализ динамики изменения количества назначений сквозных и участковых поездов выявил их относительную стабильность: в рассматриваемый период годовая неравномерность составила до 5 %. Общее количество назначений сквозных и участковых поездов, установленных в ПФП, в 2017 году составило 106 % к уровню 2010 года. Для участковых назначений поездов выявленная динамика определятся в основном топологией транспортной сети.

Анализ изменений назначений сквозных и участковых поездов в ПФП в период с 2010 по 2017 годы показал, что назначения сквозных поездов изменялись незначительно по отношению к общему количеству назначений поездов. Изменения сквозных назначением связаны, в основном, с уменьшением или увеличением объемов и дальности следования грузопотока, а изменения назначений участковых поездов – с изменением объемов местных вагонопотоков и изменением технологии организации местной работы на участках и в узлах.

Назначения местных поездов (сборных, вывозных, передаточных, диспетчерских локомотивов), установленных ПФП и технологиями организации местной работы на отделениях дороги также имеют стабильный характер в системе организации вагонопотоков. Корректировка назначений местных поездов осуществляется при изменении объемов местной работы на участках, примыкающих к техническим станциям, а также при изменении направлений перевозки грузов и перемещении порожних вагонов.

В результате анализа назначений местных поездов, установленных ПФП и технологическими процессами организации местной работы на отделениях дороги, можно выделить следующие корректировочные меры:

– ввод (отмена) дополнительных назначений вывозных или передаточных поездов при увеличении (уменьшении) объемов грузовой работы на отдельных станциях (прежде всего сезонного характера);

– отмена сборного поезда и назначение вывозных, участково-сборных, участковых (с прицепкой групп вагонов на станции участка) поездов;

– ввод назначений сборных поездов при увеличении количества станций, выполняющих грузовую работу.

Результаты ретроспективного сравнительного анализа изменений назначений местных поездов, установленных ПФП и технологическими процессами организации местной работы на отделениях дороги, указывают на устойчивый характер корреспонденций вагонопотоков с местным грузом на всех участках инфраструктуры, что определяет незначительные корректировки назначений ПФП.

Структура вагонопотоков на Белорусской железной дороге. Распределение среднесуточного объема работы по пропуску транзитного вагонопотока на основных железнодорожных станциях (на основе данных из вагонной модели ИАС ПУР ГП) приведено на рисунке 3.

На железнодорожных станциях Белорусской железной дороги, являющихся техническими станциями передачи вагонов в международном сообщении, свыше половины объема работы (62 %) приходится на пропуск транзитного вагонопотока с переработкой, при этом свыше трети такого вагонопотока перерабатывается железнодорожными станциями Калинковичи, Витебск, Гомель, Брест-Восточный и Могилев-2. Железнодорожной станцией с наибольшим объемом переработки транзитного вагонопотока является станция Минск-Сортировочный – 12 % от общего объема.

Основными факторами, определяющими распределение объема работы по пропуску вагонопотока с переработкой и без переработки [5, 6], являются:

– размещение в топологии железнодорожной сети Республики Беларусь железнодорожных станций: передачи вагонов, размещенная у границы между смежными железнодорожными администрациями; обслуживающая вагонопоток в перегрузочных районах; являющаяся узловой станцией на пересечении железнодорожных линий;

– железнодорожная станции регионального значения, выступающими как опорная станция в организации местной работы на примыкающих участках;

– структура вагонопотока (груженый и порожний) и его распределение по направлениям следования;

– структура вагонопотока (внутриреспубликанское и международное сообщение) и его распределение по направлениям следования.

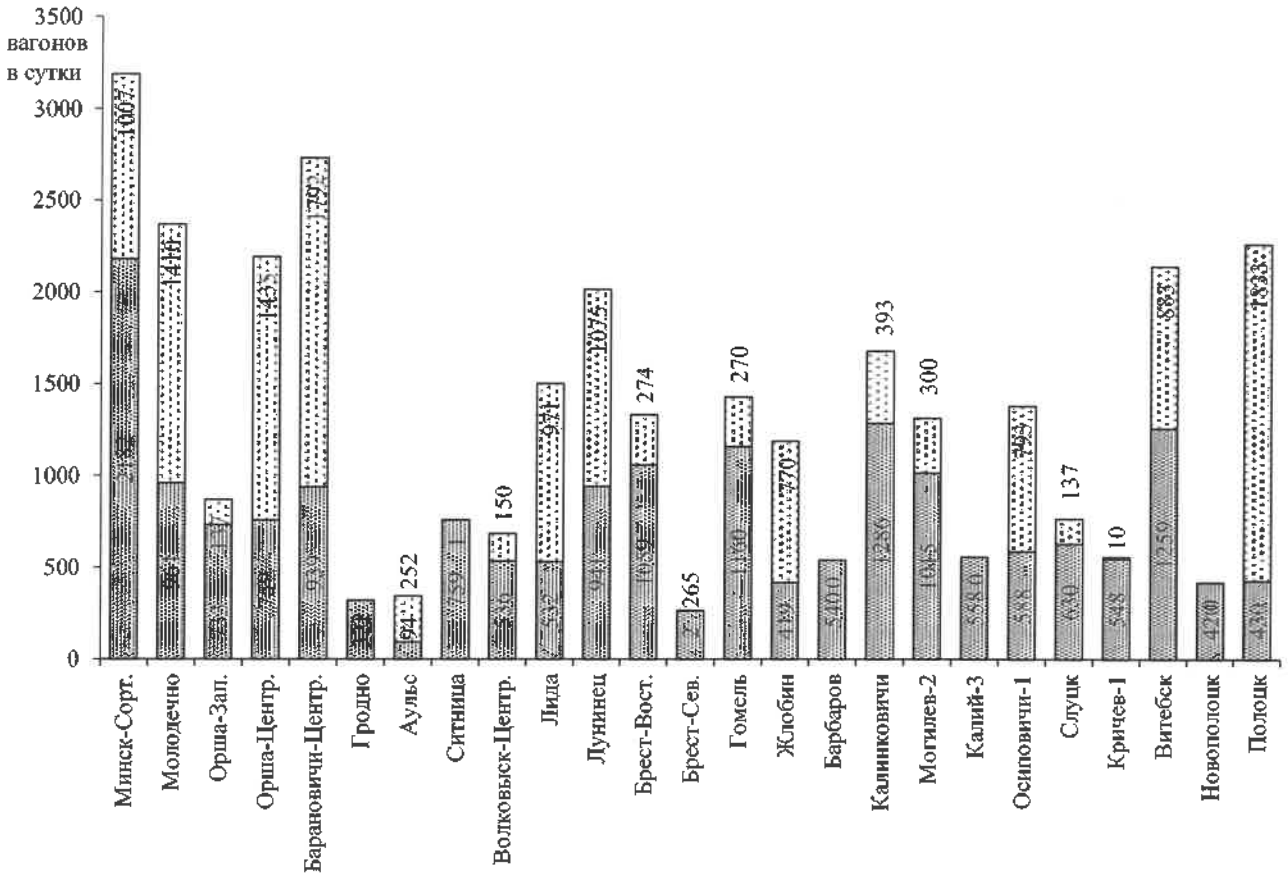


Рисунок 3 – Распределение среднесуточного объема эксплуатационной работы по пропуску транзитного вагонопотока на основных железнодорожных станциях:
■ – с переработкой; □ – без переработки

Анализ структуры вагонопотоков по видам сообщения за 2017 год показал, что наибольший удельный вес в общем вагонопотоке составляет: вывоз – 41 %, транзит – 31 %, удельный вес ввоза не превышает 8 %, вагонопоток в местном сообщении составляет 20 %.

Анализ исполненных вагонопотоков по основным железнодорожным станциям. Качество системы организации вагонопотоков можно оценить на основе сравнительной оценки фактического выполнения ПФП (таблица 1) как по реализации установленных назначений, так и по количеству сформированных и отправленных поездов по каждому назначению.

Оценка ввода дополнительных назначений или отмены установленных ПФП показывает:

– формирование на железнодорожных станциях отправительских маршрутов на дополнительные назначения зависит от конъюнктуры товарного рынка грузоотправителей и дополнительных заявок на погрузку (удельный вес дополнительных назначений доходит до 14 % от общего количества назначений);

– на технических станциях дополнительные назначения сквозных поездов зависят от изменения объемов, структуры, направления и дальности следования грузопотока (удельный вес дополнительных назначений доходит до 28 % от общего количества назначений);

– на технических станциях дополнительные назначения маршрутов из порожних вагонов зависят от потребностей перевозчиков и операторов подвижного состава в маршрутной регулировке порожних вагонов;

– на технических станциях дополнительные назначения местных поездов зависят от сезонности перевозки грузов и равномерности объемов грузовой работы на отдельных станциях участков, узлов (удельный вес дополнительных назначений доходит до 9 % от общего количества назначений).

Установленные назначения действующего ПФП имеют значительную суточную неравномерность, связанную с многофакторностью образования рынка товародвижения и перемещения порожних вагонов [6, 8]. Анализ количества поездов по ПФП на основных железнодорожных станциях (технических) показал, что среднее количество назначений поездов составило 15 (сквозных – 4, отправительских маршрутов – 2), среднесуточное количество отправленных поездов – 15,9, отправленных вагонов – 753, средний состав – 52 вагона. Наибольшие объемы переработала железнодорожная станция Минск-Сортировочный, наименьшие – Аульс.

Распределение вагонопотока по фактическим назначениям поездов, сформированных за I полугодие 2017 года на основных железнодорожных станциях, и оценка их соответствия назначениям, установленными действующим ПФП на 2016–2017 годы, действующим Планом формирования отправительской маршрутизации на 2016–2017 годы (ПФОМ) и действующим Перечнем международных контейнерных поездов на 2016–2017 годы (ПМКП), приведено в таблице 1.

Таблица 1 – **Распределение вагонопотока по фактическим назначениям поездов на основных железнодорожных станциях в процентах от общего размера вагонопотока, отправленного со станций (на примере станций Минск-Сортировочный и Ситница)**

Станция формирования	Станция назначения	Удельный вес, %	Станция формирования	Станция назначения	Удельный вес, %
Минск-Сортировочный	*Назначения действующего ПФ*		Ситница	*Назначения действующего ПФП*	
	Молодечно	9,53		Калинковичи	7,96
	Смоленск-Сортировочный	9,28		Лунинец	6,66
	Вайдотай	8,36		Микашевичи	0,56
	Лунинец	7,05		**Всего по действующему ПФП**	**15,18**
	Гомель	6,11		*Назначения действующего ПФОМ*	
	Осиповичи I	5,6		Минск-Сортировочный	21,12
	Барановичи-Центральные	5,2		Орша-Западная	16,95
	Брест-Центральный (эксп.)	5,01		Барановичи-Центральные	16,47
	Орша-Западная	4,78		Гомель	9,78
	Степянка	4,2		Лида	6,07
	Брест-Восточный	4,11		Могилев II	0,22
	Шабаны	3,79		**Всего по действующему ПФОМ**	**70,61**
	Борисов	3,72		**Всего по действующему ПФП и ПФОМ**	**85,79**
	Ситница	1,92		*Назначения сверх действующего ПФОМ*	
	Колядичи	1,63		Смоленск-Сортировочный	10,29
	Минск-Северный	1,24		Унеча	1,75
	Минск-Южный	1,15		Брянск-Льговский	1,31
	Всего по действующему ПФП	**82,68**		Жабинка	0,32
	Назначения сверх действующего ПФП			Молодечно	0,30
	Волковыск-Центральный	6,06		Вайдотай	0,23
	Калинковичи	5,79		**Всего сверх действующего ПФОМ**	**14,21**
	Жлобин	0,75		и т. д.	
	Брянск-Льговский	0,74			
	Итого сквозные	**13,34**			
	Смолевичи	1,42			
	Дубравы	0,8			
	Пуховичи	0,69			
	Итого местные	**2,91**			
	Всего сверх действующего ПФП	**16,25**			
В среднем по дороге	**Всего по назначениям сверх действующего ПФП**				**28,88**
	По назначениям действующих ПФП, ПФОМ, ПМКП				88,1
	По назначениям сверх действующих ПФП, ПФОМ, ПМКП				11,6

В результате анализа распределения вагонопотока по фактическим назначениям поездов, сформированных в 2017 году на технических станциях, установлено, что 88,1 % назначений поездов сформированы согласно действующим ПФП, ПФОМ и ПМКП.

Удельный вес назначений сквозных поездов сверх действующего ПФП составляет в среднем 6,9 % от общего объема вагонопотока, формируемого станциями, участковых – 0,8, местных – 1,6 %. Удельный вес назначений отправительских ступенчатых маршрутов сверх действующего ПФОМ составляет в среднем 1,8 % от общего объема вагонопотока, формируемого станциями.

Фактическое количество назначений поездов по некоторым железнодорожным станциям больше, чем установлено действующими ПФП и ПФОМ, а отдельные назначения сквозных поездов и отправительских ступенчатых маршрутов по факту выполнения имеют небольшой объем вагонопотока. Это обусловлено значительными колебаниями вагонопотоков в течение года, а также тенденцией формирования поездов более дальних назначений.

Вывод. Для решения задачи распределения эксплуатационной работы по организации вагонопотоков на технических станциях Белорусской железной дороги необходимо учитывать:

– технические станции являются важным объектом инфраструктуры железнодорожного транспорта, который обладает значительными ресурсами и обеспечивает выполнение железной дорогой формирование поездов в международном и внутригосударственном сообщениях в соответствии с договорными обязательствами на перевозку;

– основные технологические процессы и параметры переработки вагонопотока на технических станциях: объем, структура, направление и дальность следования грузопотока, вагонопотока, поездопотока, назначения ПФП, заявки перевозчиков и операторов подвижного состава;

– ранг железнодорожной станции исходя из классификационных признаков участия в системе организации вагонопотока;

– системные подходы к оценке распределения работы между техническими станциями с учетом конъюнктуры рынка товародвижения и развития рынка участников перевозочного процесса.

Список литературы

1 Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте : учеб. для вузов / под ред. П. С. Грунтова. – М. : Транспорт, 1994. – 543 с.

2 **Буянова, В. К.** Система организации вагонопотоков / В. К. Буянова, С. И. Сметанин, Е. В. Архангельский. – М. : Транспорт, 1988. – 223 с.

3 Методические рекомендации по организации вагонопотоков на Белорусской железной дороге. – Минск : Белорусская ж. д., 2013. – 320 с.

4 План формирования грузовых поездов на Белорусской железной дороге. – Минск : Белорусская ж. д., 2017. – 90 с.

5 **Кузнецов, В. Г.** Расчет объемов транспортного потока по направлениям железнодорожной сети / В. Г. Кузнецов, В. Г. Козлов, М. Г. Козлов // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2011. – № 1. – С. 68–71.

6 **Кузнецов, В. Г.** Определение корреспонденций прогнозных вагонопотоков на основе плана погрузки дороги с применением автоматизированной системы «Динамическая карта» / В. Г. Кузнецов, В. Г. Козлов, В. Г. Бекеш // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт, 2016. – № 2 (33). – С. 41–44.

7 **Кузнецов, В. Г.** Функциональное построение автоматизированной системы организации вагонопотоков на железной дороге / В. Г. Козлов, Н. А. Старинская, И. А. Александрина // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2016) : тр. Пятой науч.-техн. конф. с междунар. участием (17–18 ноября 2016 г., Москва, Россия) / общ. ред.: В. Г. Матюхин, В. И. Строганов. – М. : ОАО «НИИАС», 2016. – С. 82–85.

8 **Бородин, А. Ф.** Проблемы разработки генеральных схем развития сети железных дорог ОАО «РЖД» / А. Ф. Бородин // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 8. – С. 34–42.

9 **Ерофеев, А. А.** Интеллектуальное управление перевозочным процессом / А. А. Ерофеев // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 4. – С. 74–77.

Получено 23.10.2018

A. B. Makridenko, T. V. Pilgun, V. G. Kuznetsov, I. M. Litvinova, M. Yu. Stradomsky, V. G. Kozlov. Estimation of the distribution of operational work on the organization of traffic volumes at the technical stations of the Belarusian railway.

Technical stations are considered as an important object of railway transport infrastructure, which has significant resources necessary for the processing of railcar traffic. A systematic assessment of the parameters that determine the role of the technical station in the system of organization of railway traffic in the Republic of Belarus is given. The distribution of operational work at railway stations based on the main features of the processing of the car-flow: volumes, structure of the car-flow, train-flow, purposes of the formation plan. The features of the ranking of railway stations based on the classification features of participation in the system of traffic flow organization are considered. The approaches to the assessment of work distribution between technical stations taking into account the development of the market of participants of the transportation process are presented.

УДК 004.9, 656.073

В. Г. КУЗНЕЦОВ, кандидат технических наук, Е. А. ФЕДОРОВ, В. Г. КОЗЛОВ, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; С. В. ГРИГОРЬЕВ, Белорусская железная дорога, г. Минск

ЦИФРОВАЯ МОДЕЛЬ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕВОЗОЧНЫМ ПРОЦЕССОМ

Решение множества задач оперативного управления перевозочным процессом зависят от качества организации системы информационного обеспечения. Развитие информационных технологий, в том числе ГИС-технологий, определяет новые возможности их применения на железнодорожном транспорте, а также и новые требования к технологии обработки и анализа информации. На текущем этапе развития для принятия управленческих решений уже недостаточно получения своевременной и актуальной информации о состоянии объектов перевозочного процесса. Требуется создание новых интеллектуальных транспортных систем, позволяющих в результате обработки огромного массива информации формировать готовые решения. Для этого необходимо описание области знаний перевозочного процесса, через формализацию цифровых моделей объектов железнодорожного транспорта и определение их семантических и онтологических связей.

Для решения задач оперативного управления перевозочным процессом на основе использования ГИС-технологий необходимо поддерживать целостную базу данных объектов инфраструктуры и связанных с ними характеристик, в том числе с отображением объектов инфраструктуры на географической основе. Основой ГИС является геоинформационная база данных (ГБД) хранения данных [1, 3, 4, 10].

ГБД является составной частью цифровой модели железной дороги, которая идентифицирует объекты управления в пространстве. По продолжительности жизненного цикла и структуре геоданных основных технических ресурсов перевозочного процесса все объекты цифровой модели железной дороги разделены на две подгруппы: объекты инфраструктуры и объекты перевозочных средств (динамически изменяемые в пространстве объекты слежения).

Описание цифровых моделей объектов инфраструктуры и перевозочных средств железной дороги осуществляется на принципах их геоинформационной спецификации для решения задач оперативного управления перевозочного процесса.

Цифровая модель железной дороги отображает объекты инфраструктуры (ОИ) и объекты подвижного состава (ОПС), в зависимости от установленной совокупности характеристик и параметров их оценки.

Цифровая модель ОИ Белорусской железной дороги состоит из следующих концептуальных элементов и логических сущностей: железная дорога; отделение железной дороги; железнодорожная станция; межгосударственный пункт перехода; межотделенческий пункт перехода; железнодорожное направление; железнодорожный участок; перегон; блок-участок; район управления ЦУП; район управления ЦУМР; диспетчерский участок; парк станции; маневровый район станции; грузовой район станции; место общего пользования; место необщего пользования; депо и ряд других [14].

Приведенные логические сущности составляют группу статических объектов моделирования перевозочного процесса, продолжительность жизненного цикла геоинформационных данных которых определяется периодичностью проведения реконструкции (модернизации).

На основании цифровой трансформации логических сущностей объектов инфраструктуры формируется база данных статических объектов. Каждая логическая сущность состоит из нескольких связных объектов, которые в БД разделены на следующие подсхемы (группа таблиц): дорога, отделения, железнодорожные станции, железнодорожные участки, депо и вспомогательные таблицы. В данную подгруппу объектов моделирования также входят такие логические сущности перевозочного процесса, как график движения поездов и план формирования поездов.

Приведенные подсхемы БД состоят из ряда отдельных взаимосвязанных таблиц с описанием элементарных (топографических) объектов. Например, цифровая модель объекта «железнодорожная станция» включает следующие элементарные объекты: пути; стрелочные переводы; светофоры; поездные и маневровые маршруты; пассажирские платформы; здания; искусственные сооружения; земляное полотно и т.д.

Элементарные (топографические) объекты инфраструктуры определяются соответствующими атрибутами: динамическими (имя, положение X, положение Y, угол поворота, масштаб X, Y, Z), постоянными (класс, вид, логическая принадлежность, тип, принадлежность) и статическими (номер, отметка центра, отметка земли, материал, габариты и т.п.) [5].

Из элементарных объектов с различной атрибутивной информацией формируется соответствующие статические объекты цифровой модели перевозочного процесса. Классификатор элементарных (топографических) объектов инфраструктуры определен в СТП [1].

Цифровая модель ОПС (объектов слежения) железной дороги состоит из следующих концептуальных элементов и логических сущностей: поезд; состав; вагон; контейнер; отправка; локомотив; бригада; документ.

На основании цифровой трансформации логических сущностей, таких как «поезд», «состав», «вагон», «контейнер», «отправка», «локомотив», «документ», формируюся базы данных динамических объектов перевозочного процесса. Каждая логическая сущность состоит из нескольких логически связных объектов. В соответствии с этим БД динамических объектов логически разделена на следующие подсхемы: поезда, составы, вагоны, контейнеры, отправки, локомотивы, бригады, документы и вспомогательные таблицы, которые логически связаны между собой. Сведения о каждом объекте

слежения заносятся в соответствующую ему логическую подсхему, которая состоит из нескольких уровней. Каждая таблица БД последующего уровня является дочерней по отношению к таблице предыдущего уровня.

К вспомогательным относятся таблицы, не принадлежащие явно ни к одной из логических сущностей. Они необходимы для хранения информации, общей для двух или более логических сущностей, либо для предотвращения избыточности данных в какой-либо конкретной сущности (код, вид и тип объекта и т.п.). Во вспомогательных таблицах также находится специально агрегированная информация для решения определенного класса задач перевозочного процесса.

Поля таблиц с информацией о позиционировании объекта слежения всех уровней заполняются на основании данных глобальных навигационных спутниковых систем (GNSS), поступающих в базу данных в оперативном режиме [9]. Информация записывается в таблицы всех логических подсхем, объекты слежения. Часть полей таблиц заполняются непосредственно из показателей исходных сообщений АСУ линейного уровня путем переноса их значений в поля таблиц БД. Часть показателей заполняются по алгоритмам на основании значений показателей исходного сообщения АСУ и НСИ.

Порядок заполнения показателей таблиц с данными объектов перевозочных средств имеет свои особенности как для отдельного объекта слежения, так и для конкретного исходного сообщения АСУ. Поэтому заполнение таблиц осуществляется по специальным алгоритмам обработки GPS данных отдельно для каждого ОПС. Приоритетность записи информации в таблицы определяется также специальными алгоритмами, с использованием служебных таблиц. Продолжительность жизни информации о позиционировании динамического объекта определяется идентификацией выполнения операции в режиме реального времени.

Такая система организации БД позволяет поддерживать содержащиеся в ней сведения об объектах слежения в актуальном состоянии и непротиворечивой целостности.

Концептуальное моделирование объектов инфраструктуры и перевозочных средств для решения задач оперативного управления перевозочным процессом основывается на семантических и онтологических связях между данными объектами в процессе перевозок. Обобщенная онтологическая схема объектов перевозочного процесса на железнодорожном транспорте приведена на рисунке 1.

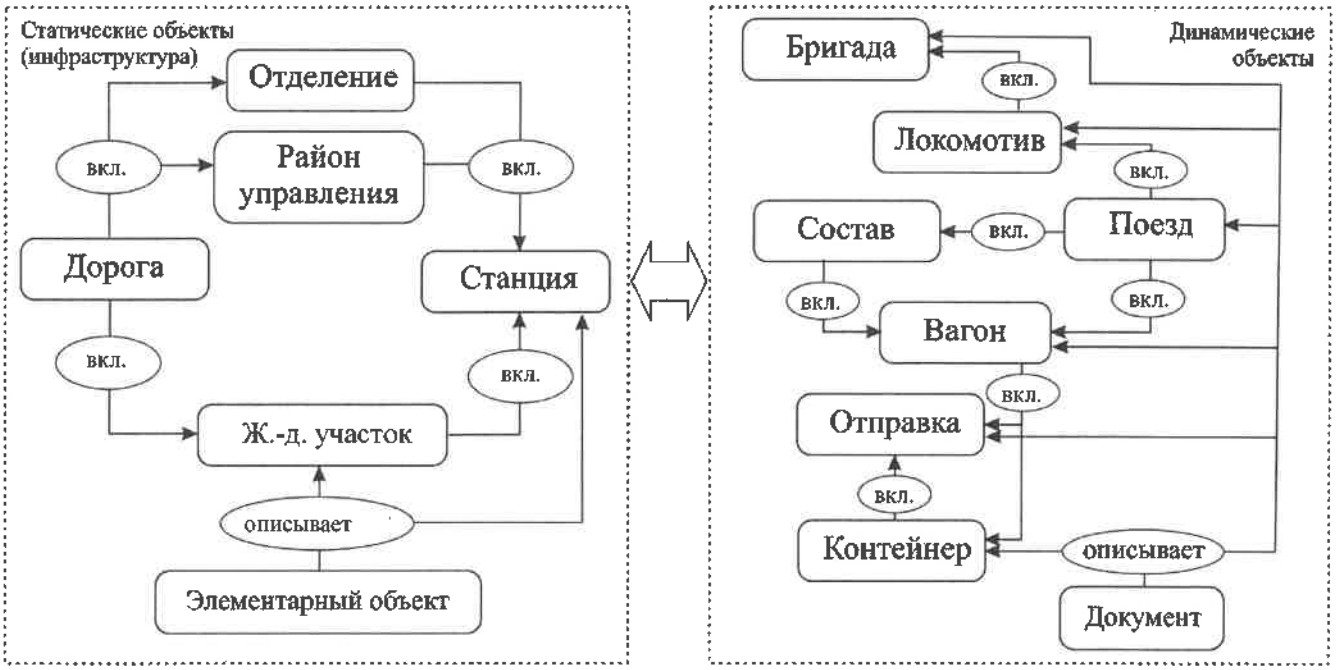


Рисунок 1 – Обобщенная онтологическая схема объектов перевозочного процесса

В соответствии с классификатором цифровых моделей объектов железнодорожного транспорта онтологическая схема перевозочного процесса состоит из двух блоков: статические (ОИ) и динамические объекты (ОПС). Каждый блок имеет свои особенности формирования геоинформационных данных и соответствующие требования к их актуальности и точности. Актуальность данных о позиционировании статических объектов составляет одни сутки. Точность положения по координатам *X, Y, Z* – не более одного метра. Данные о позиционировании динамических объектов должны удовлетворять следующим требованиям: актуальность – не более 1 с, точность определяется техническими возможностями геоинформационной системой позиционирования объекта в пространстве, при этом должна позволять однозначно определять положение объекта слежения на элементах инфраструктуры.

В онтологической схеме процесса перевозок объекты связаны между собой внутри своей группы. Объект «железнодорожная станция» является элементом (атрибутом) объектов более высокого уровня – «отделение железной дороги» и «железнодорожный участок». В свою очередь «железнодорожный участок» является элементом объекта «отделение железной дороги», а также «района управления ЦУП» и при этом его атрибуты определяются на основании параметров объекта

«железнодорожная станция». Самым верхним уровнем в группе статических объектов является «железная дорога».

Параметры позиционирования ОПС (объектов слежения) «поезд», «состав» и «вагон» связаны между собой и с элементарными объектами инфраструктуры. В зависимости от стадии перевозочного процесса параметры объектов слежения объединяются в один объект слежения более верхнего уровня или, наоборот, объект верхнего уровня разбивается на объекты нижнего уровня. Например, после процесса погрузки объект «отправка» (контейнер) включается во временную группу объекта «вагон». Технологическое время жизни данной группы заканчивается после выполнения операции выгрузки. Аналогичная процедура производится при трансформации объектов «вагон (состав)» и «локомотив» в объект верхнего уровня – «поезд».

Позиционирование ОПС производится по динамическим атрибутам: положение *X*, положение *Y*, положение *Z*, а также по принадлежности к элементарным ОИ. Интегрирующей основой для данных об инфраструктуре является **информация в картографической нотации**. Она позволяет отобразить значительный объем информации о взаимном расположении объектов инфраструктуры и их существенные характеристики. Поэтому важной задачей, с точки зрения формирования ГБД, является формирование таблиц с геоданными с последующим дополнением модели данных ГБД таблицами, реализующими отношения. Геоданные могут быть представлены двух видах [1, 3, 5].

Растровые данные представляют собой файлы с изображением участка земной поверхности в виде массива точек, которые могут быть географически закоординированы, наиболее распространенный формат *tiff* (georeferencing Tagged Image File Format). Ввиду того, что объекты инфраструктуры отображаются на картах и масштабных планах в виде условных обозначений, а не точек, применение растровых данных неудобно при использовании в ГИС. Они могут быть применены в качестве вспомогательного материала.

Векторные данные представляют собой записи в таблицах ГБД (управляемых системой управления баз данных с поддержкой географической привязки – *Oracle*, *SQL Server*, *PostgresQL* и др.) или файлы с таблицами географически привязанных данных, наиболее распространенный формат – *shp* (ESRI SHePefile), правила визуализации которых (условные графические обозначения) хранятся на ГИС-сервере. Такое представление данных является наиболее наглядным способом отображения объектов инфраструктуры и позволяет обеспечить ссылки на соответствующие данные ГБД и информационных систем (ИС).

При формировании модели данных ГБД на основе онтологии необходимо учитывать установленные ТНПА типы отношений между классами инфраструктуры [14].

Данные в символьной нотации об объектах инфраструктуры могут храниться как непосредственно в ГБД, так и в отраслевых ИС служб. В настоящее время все используемые на железнодорожном транспорте ИС (Информационная аналитическая система поддержки управленческих решений для грузовых перевозок – ИАС ПУР ГП, Единая корпоративная интегрированная система управления финансами и ресурсами – ЕК ИСУФР, Автоматизированная система управления сортировочной станцией – АСУСС, Система автоматизации подготовки и оформления документов станционной и коммерческой отчетности – САПОД, разрабатываемая Автоматизированная система управления в хозяйстве пути – АСУ «Путь» и другие) в своей архитектуре реализованы на системах управления базами данных, которые обеспечивают доступ из любой ГИС [13]. Однако в большинстве инфраструктурных служб в настоящее время не завершено формирование отраслевых ИС, поэтому ГБД может стать важным источником данных для ИС служб. Это позволяет обеспечить единство источника данных об объектах инфраструктуры для всех подразделений железной дороги [8].

Создание ГБД позволит создать инструменты коллективной работы отраслевых специалистов при решении задач управления инфраструктурой: проектировщиков, эксплуатационников, снабженцев и управленцев, которая будет являться единым источником информации для всех подразделений, занятых в системе эксплуатации инфраструктуры.

Накопление информации об инфраструктуре в ГБД. Основой инфраструктуры железных дорог является путевое развитие, непосредственно к которому примыкает большинство объектов инфраструктуры [6, 7]. Исходное накопление данных ГБД осуществляется посредством сбора материалов линейных изысканий путевого развития станций и подъездных путей. Все материалы изыскательских работ, связанных со строительством, разработкой исполнительной документации и паспортизацией подъездных путей, должны накапливаться в ГБД. Бумажный вариант материалов в этом случае является резервным. Требования к подготовке документов в электронном виде должны быть разработаны с учетом возможности экспорта их в ГБД с минимальными трудозатратами. Для этого может быть использован стандарт предприятия «Инженерно-геодезические изыскания. Составление масштабных планов, продольных и поперечных профилей объектов железнодорожного транспорта» [1]. Он включает в себя описание системы обращения материалов изысканий, подготовленных в электронном виде, перечень условных картографических обозначений устройств и сооружений железнодорожного транспорта и позволит сформировать геоданные об инфраструктуре железной дороги.

Наполнение ГБД при производстве строительных работ возможно за счет того, что в ходе выполнения проектных работ проводятся изыскания, которые посредством специальной методики войдут в состав ГБД. После проведения исполнительной съемки ее материалы, подготовленные в электронном виде в соответствии со стандартом, должны передаваться в ГБД. Это гарантирует соблюдение проектных требований, исполнение которых, в особенности при изменении параметров движения, обеспечивает безопасность перевозок.

Последующее наполнение ГБД может осуществляться по мере выполнения топографо-геодезических и линейных изысканий, выполняемых в ходе паспортизации, проектирования строительства, модернизации и реконструкции объектов инфраструктуры. Это позволит обеспечить многократное использование хранящихся в ГБД геоданных [7].

Обработка материалов изысканий для передачи их в ГБД возможна:

– непосредственно в клиентском приложении ГИС (ГИС-клиенте) с помощью имеющихся в системе инструментов вычерчивания карт;

– в САПР, для чего необходимо обеспечить унификацию представления данных в специализированных САПР и ГБД для обеспечения возможности передачи данных между ними без потери в автоматическом режиме.

Разница между представлением данных в САПР- и ГИС-форматах заключается в том, что САПР-чертеж представляет собой набор графических объектов и сопряженных с ними атрибутов, а ГИС-чертеж представляет собой нормализованную базу пространственных данных, визуализация объектов которой осуществляется посредством настройки правил стилизации классов объектов, определяемых в рамках настройки ГБД и адаптации ГИС-клиента. Таким образом, вопрос выбора методики наполнения ГБД лежит в плоскости возможности перехода от графических объектов к записям базы данных со стилизацией и наоборот.

Технические параметры объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта должны позволять идентифицировать любой объект в железнодорожной инфраструктуре и быть достаточными для принятия управленческих решений по передвижению их в соответствии с планом поездообразования, графиком движения поездов и планом маневровой работы [2, 11, 12].

Для формализации процедур принятия управленческих решений в геоинформационных системах используют четыре вида данных [5]: пространственные данные; атрибутные данные; библиотеки условных знаков; метаданные. Пространственные данные содержат информацию о пространственном положении объектов и описывают их геометрию. Атрибутные данные описывают качественные и количественные свойства пространственных объектов. Библиотеки условных знаков содержат наборы стандартных условных знаков, символов и принятых обозначений для отображения пространственных объектов на железнодорожном транспорте. Метаданные, как правило, содержат информацию о самих данных, т.е. об источниках данных, методах получения данных, конкретных исполнителях, получивших данные, и т.п.

Для решения задач организации движения поездов и перемещения маневровых составов необходимо иметь точки их координатной привязки, позволяющих однозначно сформировать маршрут следования (перемещения) от исходной точки (1) до конечной точки (n) и идентифицировать нахождение грузового поезда (маневрового состава) на маршруте следования:

$$S: \{\mathrm{O}_{\text{онz}}(S_{\text{он1}});\ \mathrm{O}_{\text{онz}}(S_{\text{он2}}); \dots; \mathrm{O}_{\text{онz}}(S_{\text{он}n})\}. \quad (1)$$

Для поездной работы исходной точкой является расположение поезда на пути парка у установленного выходного светофора (сигнала) железнодорожной станции отправления, конечной точкой является путь парка у установленного выходного светофора (сигнала) железнодорожной станции назначения. Проходными точками следования поезда являются пути железнодорожных станций, входные и выходные светофоры железнодорожных станций, перегоны, блок-участки и проходные светофоры перегонов, а также другие объекты, идентифицирующие нахождение поезда и изменение его пространственного состояния.

Для маневровой работы исходной точкой является расположение маневрового состава (группы вагонов) на станционном пути (иного пункта, в том числе пути необщего пользования) у установленного маневрового светофора (сигнала) с пути перемещения, конечной точкой является станционный путь (или иной пункт) у установленного маневрового светофора (сигнала) пути перемещения. Проходными точками следования поезда являются пути железнодорожной станции, мест общего и необщего пользования, маневровые светофоры, соединительные пути, вытяжные пути, а также другие объекты, идентифицирующие нахождение маневрового состава (группы вагонов) и изменение его пространственного состояния.

Каждая точка маршрута следования (перемещения) должна иметь координатную привязку и однозначно и с высокой точностью определять местонахождение поезда (маневрового состава).

Технологические параметры организации перевозочного процесса должны однозначно определять в реальном масштабе времени свободность (занятость) объекта инфраструктуры обслуживанием транспортного потока по пропуску или выполнению технических, технологических или иных операций по обслуживанию подвижного состава.

Для определения технологических операций необходимо устанавливать **моменты времени занятия ОИ:**

для поездной работы:

– отправления поезда;

– прибытия поезда;

– проследования поезда установленных точек инфраструктуры на маршруте следования;

для маневровой работы:

– начала перемещения маневрового состава с пути;

– окончания перемещения маневрового состава на пути назначения;

– проследования маневровым составом установленных на маршруте перемещения точек инфраструктуры.

Выполнение i-й технологической операции $(t_{\text{н},i}; t_{\text{к},i})$ перемещения z-го ОПС на маршруте следования от точки 1 до точки n определяется начальным $(t_{\text{н},i})$ и конечным $(t_{\text{к},i})$ моментами по всем n точкам в зависимости от расстояния между точками на маршруте $S: \{\mathrm{O}_{\text{онz}}(S_{\text{он1}});\ \mathrm{O}_{\text{онz}}(S_{\text{он2}}); \dots; \mathrm{O}_{\text{онz}}(S_{\text{он}n})\}$ и скорости движения:

$$T_{\text{перz}}(t_{\text{н},i}; t_{\text{к},i}) = \sum T_{\text{перz}j} = T_{\text{zон1}} + \dots + T_{\text{zон}n}. \quad (2)$$

Затраты времени устанавливаются в зависимости от характеристик грузового поезда и маневрового состава, технических характеристик маршрута следования (маршрута перемещения), ограничений скорости движения поезда (маневрового состава), установленного локальными ТНПА.

Выполнение i-й технологической операцией $(t_{\text{н},i}; t_{\text{к},i})$ обслуживания z-го ОПС на ОИ инфраструктуре определяется начальным $(t_{\text{н},i})$ и конечным $(t_{\text{к},i})$ моментами и характеризует продолжительность выполнения опера-

ции обслуживания ($T^{оп}_{обслz}$). Занятие j-го ОИ обслуживанием включает также время на ожидания обслуживания ($T^{ож}_{обсл}$) и дальнейшего перемещения после окончания обслуживания ($T^{ож}_{перz}$):

$$T_{обслz}(t_{н,i}; t_{к,i}) = T^{ож}_{обслz} + T^{оп}_{обслz} + T^{ож}_{перz}. \quad (3)$$

Нормативные времена на выполнения каждой технологической операции перемещения или обслуживания устанавливаются локальными ТНПА.

Для решения задач оперативного управления перевозочным процессом устанавливается величина транспортного потока:

– размещенная на объектах инфраструктуры с идентификацией места расположения поезда группы вагонов (контейнеров), поездных и маневровых локомотив на пути (или ином объекте);

– перемещаемая на маршруте следования;

– обслуживаемая на объекте инфраструктуре.

Оценка изменения транспортного потока по каждому объекту инфраструктуре определяется в динамике в реальном масштабе, а также при решении задач планирования пропуска перемещения: исходное и конечное состояния величины транспортного потока.

Выводы. Использование ГИС-технологий для ГБД требует формирования структуры объектов инфраструктуры и перевозочных средств (объектов слежения) с учетом множества задач эксплуатационной работы. В ГБД должны быть учтены множество характеристик и параметров, идентифицирующих состояние объектов и перемещение подвижного состава в железнодорожной сети. Достоверность и точность данных в БД должно обеспечиваться на всех этапах жизненного цикла совокупностью методов и способов их сбора, переработки и хранения. БД развиваются в корпоративной автоматизированной среде и являются доступными для ее формирования и корректировки, а также использования в информационно-аналитических системах оперативного управления перевозочным процессом.

Список литературы

1 СТП БЧ 31.372–2017. Инженерно-геодезические изыскания. Составление масштабных планов, продольных и поперечных профилей объектов железнодорожного транспорта. – Минск : Бел. ж. д., 2017. – 134 с.

2 **Кузнецов, В. Г.** Автоматизация процедуры идентификации сети железнодорожных станций и назначений плана формирования / В. Г. Кузнецов [и др.] // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2009. – № 1 (18). – С. 20–25.

3 **Сафроненко, А. А.** Разработка онтологии инфраструктуры железных дорог как основы эффективной информатизации подразделений / А. А. Сафроненко // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – № 1 (26). – 2013. – С. 59–62.

4 Инструкция по составлению техническо-распорядительных актов железнодорожных станций Белорусской железной дороги : [утв. приказом № 345Н от 05.12.2016]. – Минск : Белорусская ж.д., 2016.

5 **Ананьев, Ю. С.** Геоинформационные системы : учеб. пособие / Ю. С. Ананьев. – Томск : Изд. ТПУ, 2003. – 70 с.

6 **Гапанович, В. А.** В едином высокоточном координатном пространстве / В. А. Гапанович // Железнодорожный транспорт. – 2015. – № 11. – С. 16–20.

7 Топографо-геодезическое обеспечения с использованием ГЛОНАСС / А. Г. Гельфгат [и др.] // Железнодорожный транспорт. – 2015. – № 11. – С. 24–26.

8 Развитие системы мониторинга при создании автоматизированной системы управления состоянием инфраструктуры железной дороги / Г. В. Глевицкий [и др.] // Проблемы безопасности на транспорте: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. Ч. I / под ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2017. – С. 15–16.

9 **Ротенберг, И. Н.** Интегрированная система управления железной дорогой с применением спутниковых технологий / И. Н. Ротенберг, О. В. Тони, В. Я. Цветков // Транспорт Российской Федерации. – 2010. – № 6. – С. 54–57.

10 Стратегия инновационного развития транспортного комплекса Республики Беларусь до 2030 года : [утв. приказом М-ва трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь от 25 февраля 2015 г. № 57-Ц].

11 **Козлов, В. Г.** Оценка факторов, влияющих на оптимальность плана формирования поездов / В. Г. Козлов // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2015. – № 2 (30).

12 **Кузнецов, В. Г.** Информационное обеспечение задач плана формирования железной дороги / В. Г. Кузнецов, В. Г. Козлов // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2018. – № 1 (36).

13 **Ерофеев, А. А.** Интеллектуальное управление перевозочным процессом / А. А. Ерофеев // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 4. – С. 74–77.

14 **Розенберг, И. Н.** Распределительное управление на транспорте / И. Н. Розенберг, В. Я. Цветков // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – № 3. С. 3–16.

Получено 23.10.2018

V. G. Kuznetsov, E. A. Fedorov, V. G. Kozlov, S. V. Grigorev. Digital model of GIS-technologies for solving problems of operational management of the transportation process.

The solution of many tasks of the operational management of the transportation process depends on the quality of the organization of the information support system. The development of information technologies, including GIS technologies, defines new opportunities for their application in railway transport, as well as new requirements for information processing and analysis technology. At the current stage of development to make management decisions is not enough to obtain timely and relevant information about the state of the objects of the transportation process. Creation of new intelligent transport systems is required, which allow forming ready solutions as result of processing a huge array of information. For this, a description of the field of knowledge of the transportation process is needed, through the formalization of digital models of railway transport facilities and the definition of their semantic and ontological connections.

УДК 656.07

Ю. О. ПАЗОЙСКИЙ, доктор технических наук, М. Ю. САВЕЛЬЕВ, кандидат технических наук, А. А. СИДРАКОВ, кандидат технических наук, Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва

СПЕЦИФИКА ПРИМЕНЕНИЯ ЗОННОГО ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ГРАФИКА ДВИЖЕНИЯ ПРИГОРОДНЫХ ПОЕЗДОВ

Приведен анализ натурных обследований населенности пригородных поездов, обращающихся в Московском железнодорожном узле в пределах как «пикового», так и «непикового» периодов. Представлена методика расчета зонных размеров движения пригородных поездов в условиях применения зонного параллельного графика их движения.

Неравномерность распределения пригородного пассажиропотока по длине пригородного участка, примыкающего к крупному городу, вызывает необходимость организации зонного движения пригородных поездов. Для этого участок делится на технические зоны зонными техническими станциями – станциями оборота составов пригородных поездов. Зонное движение пригородных поездов призвано существенно сократить пробег свободных мест в поездах, так как по мере удаления от головной станции пригородного участка пассажиропоток резко падает.

Наиболее предпочтительным и удобным для пассажиров является зонный параллельный график движения пригородных поездов, при котором поезда следуют со всеми остановками (рисунок 1).

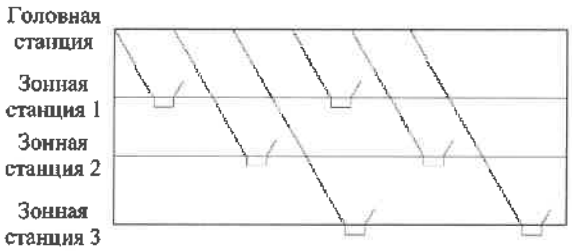


Рисунок 1 – Прокладка ниток зонного параллельного графика движения:
– нитки графика пригородных поездов со всеми остановками

При таком типе графика движения пассажиры, следующие на остановочный пункт некоторой зоны, могут воспользоваться как поездами своей зоны, так и поездами более дальних технических зон.

Натурные обследования населенности пригородных поездов, обращающихся в Московском железнодорожном узле, показали, что пригородный пассажиропоток имеет постоянную интенсивность в пределах как «пикового», так и «непикового» периодов. Более того, можно предположить, что при зонном параллельном графике пассажиропоток равномерно распределяется по поездам как данной зоны, так и более дальних зон внутри каждого из этих периодов. Это обстоятельство позволяет сделать вывод о том, что существующие методики расчета размеров движения пригородных поездов [1–3], не учитывающие специфики зонного параллельного графика движения, не дают достоверных результатов, так как моделирование распределения пригородного потока по поездам по этим методикам приводит к необходимости освоения пассажиропотока каждой зоны только поездами этой зоны. В реальных условиях такой подход к определению размеров движения пригородных поездов приводит к тому, что пассажиры ближних зон занимают места в поездах, следующих на дальние зоны, ухудшая при этом условия проезда для пассажиров дальних зон, а поезда ближних зон следуют зачастую полупустыми.

В связи с этим возникает необходимость в создании новой методики расчета зонных размеров движения пригородных поездов в условиях применения зонного параллельного графика их движения.

Пусть $\rho(e)$ – плотность распределения пассажиропотока на участке.

Γ_i – густота пассажиропотока на i-й технической зоне за рассматриваемый период, например за сутки (рисунок 2).

Тогда

$$\Gamma_1 = \int_0^L \rho\ (l)dl,\ \Gamma_2 = \int_{e_1}^L \rho\ (l)dl,\ldots,$$
$$\Gamma_i = \int_{l_{i-1}}^L \rho\ (l),\ldots,\ \Gamma_n = \int_{l_{n-1}}^L \rho\ (l)dl. \qquad (1)$$

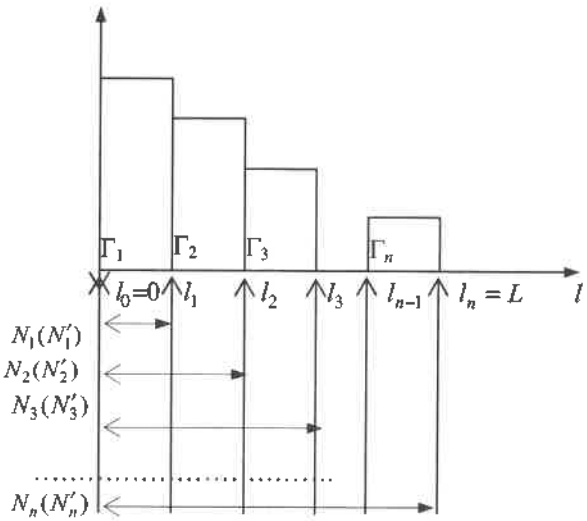


Рисунок 2 – Густоты пассажиропотока и зонные размеры движения

В этом случае число пассажиров назначением на i-ю техническую зону будет равно

$$\Gamma_i - \Gamma_{i-1} = \int_{l_{i-1}}^{l} \rho\ (l)dl, \quad i = 1,\ 2,\ldots,n. \qquad (2)$$

Потребное число поездов одного направления за рассматриваемый период при обеспечении наименьшего пробега свободных мест в поездах в соответствии с существующей методиками [1–3] будет равно

$$N_1' = \frac{\Gamma_1 - \Gamma_2}{a} \cdot \frac{N_1}{N_1 + N_2 + \ldots + N_n} = \frac{1}{a}\int_0^{l_1} \rho(l)dl \cdot \frac{N_1}{N_1 + N_2 + \ldots + N_n};$$

$$N_2' = \frac{\Gamma_1 - \Gamma_2}{a} \cdot \frac{N_2}{N_1 + N_2 + \ldots + N_n} + \frac{\Gamma_2 - \Gamma_3}{a} \cdot \frac{N_1}{N_1 + N_2 + \ldots + N_n} =$$

$$= \frac{1}{a}\int_0^{l_1} \rho(l)dl \cdot \frac{N_2}{N_1 + N_2 + \ldots + N_n} + \frac{1}{a}\int \rho(l)dl \cdot \frac{N_2}{N_2 + \ldots + N_n};$$

$$N_3' = \frac{\Gamma_1 - \Gamma_2}{a} \cdot \frac{N_3}{N_1 + N_2 + \ldots + N_n} + \frac{\Gamma_2 - \Gamma_3}{a} \cdot \frac{N_3}{N_1 + N_2 + \ldots + N_n} +$$

$$+ \frac{\Gamma_3 - \Gamma_4}{a} \cdot \frac{N_3}{N_3 + \ldots + N_n} = \frac{1}{a}\int_0^{l_1} \rho(l)dl \cdot \frac{N_3}{N_3 + N_2 + \ldots + N_n} +$$

$$+ \frac{1}{a}\int_{l_1}^{l_2} \rho(l)dl \cdot \frac{N_3}{N_2 + \ldots + N_n} + \frac{1}{a}\int_{l_2}^{l_3} \rho(l) \cdot \frac{N_3}{N_3 + \ldots + N_n};$$

$$N_n' = \frac{1}{a}\int_{l_0}^{l_1} \rho(l)dl \cdot \frac{N_n}{\sum_{k=1}^{n} N_k} + \frac{1}{a}\int_{l_1}^{l_2} \rho(l)dl \cdot \frac{N_n}{\sum_{K=2}^{n} N_K} + \ldots + \frac{1}{a}\int_{l_{n-1}}^{l_n = L} \rho(l)dl \frac{N_n}{N_n}, \quad (3)$$

где a – вместимость поезда.

Рассмотрим пример определения зонных размеров движения для пригородного участка с тремя техническими зонами (рисунок 3) при условии, что $a = 1$.

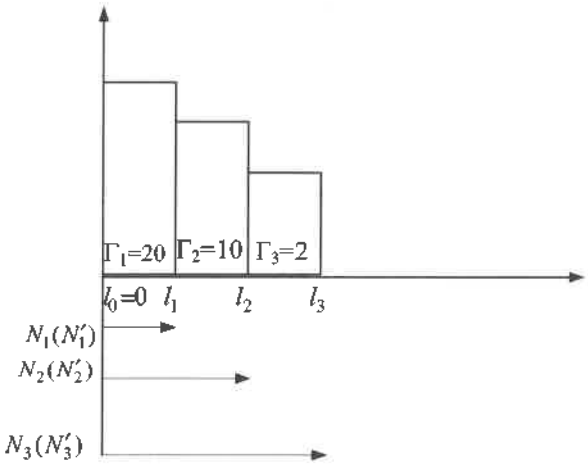


Рисунок 3 – Исходные данные примера

Тогда

$$N_1' = \frac{\Gamma_1 - \Gamma_2}{a} = 10; \; N_2' = \frac{\Gamma_2 - \Gamma_3}{a} = 8;$$

$$N_3' = \frac{\Gamma_3}{a} = 2 \text{ поезда.}$$

При этом в случае равномерного доступа пассажиров к поездам, следующим по зоне,

$$N_1' = \frac{\Gamma_1 - \Gamma_2}{a} \cdot \frac{N_1}{N_1 + N_2 + \ldots + N_n} = 10 \cdot \frac{10}{10 + 8 + 2} = 10\frac{1}{2} = 5;$$

$$N_2' = \frac{\Gamma_1 - \Gamma_2}{a} \cdot \frac{N_2}{N_1 + N_2 + \ldots + N_n} + \frac{\Gamma_2 - \Gamma_3}{a} \cdot \frac{N_2}{N_2 + N_3} =$$

$$= 10\frac{8}{10 + 8 + 2} + 8\frac{8}{8 + 2} = 10,4;$$

$$N_3' = \frac{\Gamma_1 - \Gamma_2}{a} \cdot \frac{N_3}{N_1 + N_2 + \ldots + N_n} + \frac{\Gamma_2 - \Gamma_3}{a} \cdot \frac{N_3}{N_2 + N_3} +$$

$$+ \frac{\Gamma_3}{a} \cdot \frac{N_3}{N_3} = 10\frac{2}{10 + 8 + 2} + 8\frac{2}{8 + 2} + 2\frac{2}{2} = 4,6 \text{ поезда.}$$

Тогда

$$N_1' + N_2' + N_3' = 5 + 10,4 + 4,6 = 20;$$

$$N_2' + N_3' = 10,4 + 4,6 = 15;$$

$$N_3' = 4,6 = 5 \text{ поездов.}$$

Таким образом, требование равномерного доступа пассажиров к проходящим поездам приводит к существенному увеличению потребного числа поездов дальних зон и снижению потребного числа поездов первой технической зоны.

Список литературы

1 **Пазойский, Ю. О.** Пассажирские перевозки на железнодорожном транспорте (примеры, задачи, модели, методы и решения : учеб. пособие / Ю. О. Пазойский, В. Г. Шубко, С. П. Вакуленко. – М. : ФГБОУ «Учеб.-метод. центр на ж.-д. трансп.», 2016. – 364 с.

2 Организация пригородных железнодорожных перевозок : учеб. пособие / Ю. О. Пазойский [и др.] ; под ред. Ю. О. Пазойского. – М. : ФГБОУ «Учеб.-метод. центр на ж.-д. трансп.», 2015. – 270 с.

3 Организация пассажирских перевозок : учебник / под ред. А. Г. Котенко и Е. А. Макаровой. – М. : ФГБУ ДПО «Учеб.-метод. центр на ж.-д. трансп.», 2017. – 136 с.

Получено 14.10.2018

Yu. O. Pazoysky, M. Yu. Savelyev, A. A. Sidrakov. The specific use of parallel graphics the suburban trains.

The analysis of full-scale surveys of the population of commuter trains operating in the Moscow railway junction within both "peak" and "off-peak" periods is given. The technique of calculation of the zone sizes of movement of suburban trains in the conditions of application of the zone parallel schedule of their movement is presented.

УДК 656.224

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ПАССАЖИРСКИХ ХАБОВ В ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Приведена оценка развития логистики пассажирских перевозок и влияющих факторов на изменение их объемов. Представлена формализация построения моделей развития пассажирских хабов с использованием основ теории транспортных систем. Приводятся основные теоретические положения по обоснованию создания и функционирования пассажирских хабов с учётом современных требований по освоению пассажиропотоков различной технологической направленности.

Пассажирские перевозки в Республике Беларусь являются социально значимым сектором экономики страны, что требует повышения их качества и дальнейшего развития. Однако, как показал анализ выполненых пассажирских перевозок на различных видах транспорта за последние 25 лет, наблюдается устойчивая тенденция их снижения (рисунок 1).

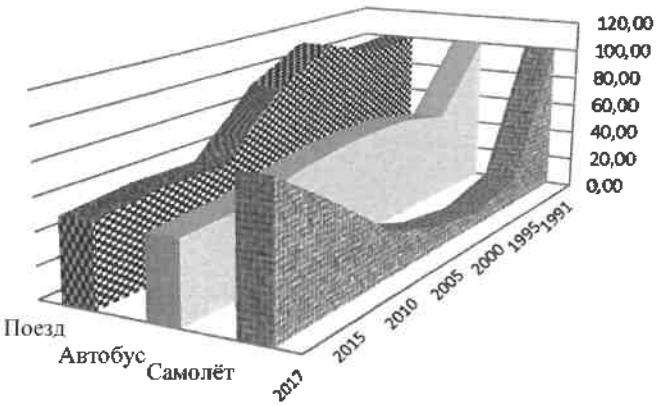


Рисунок 1 – Выполнение показателей пассажирских перевозок на различных видах транспорта в Беларуси

Как видно из приведенной диаграммы, наибольшее снижение пассажиропотока (свыше 50 %) приходится на железнодорожный и автомобильный транспорт, а наименьшее – на воздушный (9 %). Это связано с резким изменением геополитической ситуации в мире в XXI веке (обретение суверенитета республиками Беларусь, Литва и Латвия; вхождение Литвы, Латвии и Польши в Евросоюз и др.), а также неустойчивой тарифной политикой на транспорте и т. п. Следует отметить, что сегодня наблюдается тенденция дальнейшего уменьшения пассажирских перевозок из-за высокого уровня автомобилизации населения на территории стран СНГ. При этом в странах Европы за рассматриваемый период при возрастающем приобретении гражданами легковых автомобилей (20–25 %) произошло увеличение пассажиропотоков на всех видах транспорта до 30 %, особенно в региональном и городском сообщении.

По данным Всемирного банка, услугами одного вида транспорта пользуется: в международном сообщении – 12 %, межрегиональном – 26, региональном – 9, городском – 38 % населения страны. В связи с этим целесообразно рассмотрение распределения пассажиропотоков различных видов транспорта, при котором взаимодействие основано не на конкуренции, а на взаимном дополнении и использовании преимуществ каждого из них, что возможно благодаря созданию пассажирских хабов (пересадочных узлов).

Анализ результатов исследований ученых различных стран по данной проблематике позволил выделить основные направления исходя из географического районирования (таблица 1) [1–11].

Таблица 1 – **Основные технологические особенности развития пассажирских перевозок за рубежом**

Географический район расположения страны	Направление развития	Краткая характеристика
Западная Европа (Италия, Греция и др.)	Создание крупных пересадочных узлов (хабов)	Распределение и управление пассажиропотоками одновременно на различных видах транспорта
Восточная Европа (Польша, Чехия и др.)	Создание логистических пассажирских распределительных центров	
Юго-Восточная Азия (Япония, Сингапур и др.)	Создание разветвленной маршрутной сети (на городском общественном транспорте) в плотной городской застройке	

Современные исследования формирования логистики пассажирских перевозок показывают, что требуется разработка моделей их выполнения с учетом кластерного анализа пассажиропотоков на различных видах транспорта, который применяется для решения широкого спектра задач, но чаще всего для сегментирования рынка транспортных услуг, позволяющего идентифицировать устойчивые группы пассажиров и разработать карту-схему их передвижений в пределах города и за его границами. На основе карты-схемы может быть определена область пересечения пассажиропотоков и сформированы в этих точках распределительные центры или пересадочные узлы (хабы), создающие комфортные пересадочные зоны в местах пересечения маршрутов одного или нескольких видов транспорта и, помимо этого, оптимизировать пешеходные и транспортные потоки, сократить время пересадки.

Следует отметить, что первые пересадочные узлы появились в середине XIX в. в Лондоне на вокзале Кингс-Кросс в 1852 г., где железная дорога и городские линии были интегрированы в единый комплекс. В 1863 г. в Лондоне появилась первая в мире линия метрополитена, одной из станций которого стала Кингс-Кросс Сент-

Панкрасс. Вокзал соединили с «подземкой» пешеходным переходом, обеспечившим пассажирам удобную пересадку с одного вида транспорта на другой. Со временем железнодорожная и подземные станции метрополитена, управляемые разными операторами, стали рассматриваться как единый транспортный узел Великобритании с единым «пассажирским оператором» (рисунок 2).

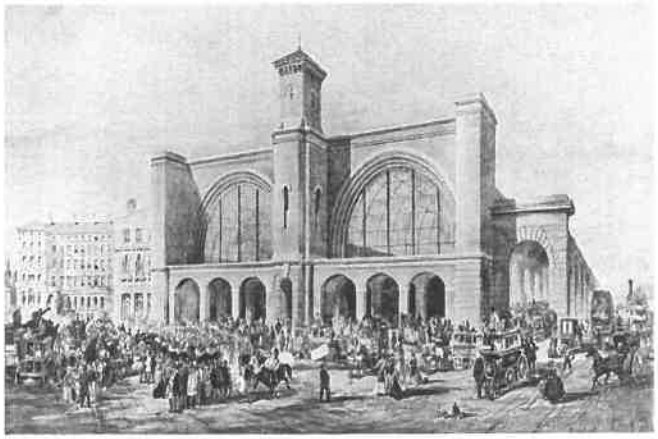


Рисунок 2 – Первый в мире транспортно-пересадочный узел (станция метрополитена Кингс-Кросс Сент-Панкрасс, Лондон)

С 1889 г. начинается история пассажирского хаба – Центрального вокзала Амстердама (Нидерланды), связавшего изначально водный и железнодорожный транспорт. Заслуживает внимания транспортная система Нью-Йорка, в которой хаб является одним из ее центральных элементов, начиная с 30-х годов XX века, и объединяет восемь отдельных автобусных терминалов, расположенных по всему городу.

Как видно из вышеприведенного анализа, пассажирские хабы имеют более вековую историю своего формирования и развития и в настоящее время являются, можно сказать, крупными транспортными предприятиями по оказанию услуг населению. Сегодня пассажирские хабы объединяют: вокзалы различных видов транспорта, транспортную и «пешеходную» инфраструктуру, а также социально значимые объекты сферы услуг (торговые комплексы, рестораны, гостиницы, автостоянки и т. п.).

Одним из побудительных факторов развития пассажирских хабов в мире являются международная интеграция и глобализация, которые привели к интенсивному развитию международного туризма и, как следствие, появлению новых особенностей у современных хабов: пропуску большого количества транзитных пассажиров, а также высокому уровню концентрации пассажиропотока на маршрутах. При этом одним из условий комфорта нахождения на территории хаба является минимизация времени пересадки и ожидания времени отправления, а также обеспечение высокого уровня обслуживания пассажиров. В связи с этим практика интеграции вокзалов различных видов транспорта, размещенных на одной территориальной площадке, остается актуальной и продолжает совершенствоваться (см. рисунок 2).

На рисунке 3 показаны железнодорожный и автовокзалы, которые компактно соединены в единый транспортно-пассажирский комплекс. В зависимости от величины пассажиропотока располагают вместе железнодорожный и автовокзал, реже – рядом с аэропортом и речным вокзалом (например, Берлин, Амстердам).

а)

б)

в)

Рисунок 3 – Транспортно-логистические хабы:
а – туристический (морской и автомобильный транспорт);
б – аэропорт, автобусный и железнодорожный;
в – интеграция железнодорожного и автобусных вокзалов (Фьюмичино)

Из приведенного рисунка 3 видно, что на одной территориальной площадке находятся транспортно-логистические хабы: морской круизный порт, аэропорт, железнодорожный и автобусный вокзалы. Это позволят использовать единого оператора пассажирских перевозок и разрабатывать интегрированные расписания движения

транспортных средств в распределительном центре, что повышает качество обслуживания пассажиров. При этом для пассажиров, прибывающих в центр, который является конечным пунктом маршрута перевозки, разработана логистика городских перевозок для метрополитена, автобусов, троллейбусов и трамваев, которые работают под эгидой единого оператора хаба. Это позволяет интегрировать оперативную работу единого транспортно-логистического пассажирского центра.

Хабы целесообразно применять не только в туристической сфере, но и при выполнении международных и межрегиональных перевозок, где так же возможны регулярные перевозки и туризм. Для целей регулярного сообщения используются хабы, размещаемые в центре городов, которые включают объединённые вокзалы или пассажирские терминалы различных видов транспорта, размещаемые в территориальной близости на одной площади, как это сделано в Минске (рисунок 4) и областных центрах страны.

Рисунок 4 – Пассажирский транспортно-логистический хаб (Минск)

Создание хаба во многих странах явилось одним из факторов роста объема пассажирских перевозок (в Германии на 20, а в Токио – 36 % в год).

В большинстве крупных агломераций созданы транспортно-логистические хабы для пассажирских перевозок, что стало важным фактором роста их объема при снижении расходов на выполнение. Например, в Афинах (Греция) хаб находится в аэропорту, из которого можно проехать на морской вокзал Пирей на городской электричке или поездом метро, в г. Афины – на рейсовом автобусе, в другие города Греции – на поезде и автобусе, а городская электричка интегрирована с метрополитеном (используется один и тот же поезд для двух видов перевозки). В Риме с учётом большого количества пассажиров, использующих несколько видов транспорта на базе аэропорта Фьюмичино, создан пассажирский хаб, обеспечивающий доставку пассажиров из аэропорта: поездом метро на центральный вокзал, с которого отправляется ежесуточно более 3600 поездов во все населенные пункты Италии; обе линии метро, связывающие все пересадочные пункты Рима; центральный автовокзал, с которого выполняется автобусное сообщение более 2320 ежедневных рейсов с населенными пунктами страны; морской терминал круизного флота Чиаттавекки.

При выполнении межрегиональных и региональных перевозок узловой вокзал (хаб) используется как пункт пересадки пассажиров в транспортные средства разных направлений движения и имеет высокий процент стыковочных рейсов (до 90 %). Он является элементом так называемой звездообразной (веерной) сети маршрутов, в которой пассажиры, перемещаясь между населенными пунктами страны, не связанными прямыми рейсами, могут достигнуть пункта назначения, совершив пересадку с одного рейса на другой с минимальной потерей времени и денежных средств. При выполнении государственных перевозок на пассажирский хаб возлагаются также задачи использования единого проездного документа на разные виды транспорта. При этом могут использоваться как один, так и несколько узловых вокзалов. Тогда в сети пассажирских маршрутов могут формироваться узловые пункты, не являющиеся пересадочными, но из которых совершается несколько рейсов в разных направлениях. Такие узловые пункты неофициально называют «вторичными хабами». Важным элементом организации пассажирского хаба для потребностей внутригосударственных пассажирских перевозок является стыковочное расписание движения транспортных средств по маршрутам различных видов транспорта.

В городском транспорте использование пассажирских хабов выполняется в крупных агломерациях, где пассажиров обслуживают два и более вида городского транспорта. Для этих целей строятся крупные пересадочные узлы. Как правило, центральным звеном выступает железнодорожный вокзал. К нему производится привязка маршрутной сети городского транспорта, который связывает в единую систему все виды городского транспорта. Наибольший опыт создания и развития пассажирских хабов можно отметить в крупнейших городах мира: Амстердаме, Пекине, Токио, Нагоя, Москве, Берлине, Париже. В Республике Беларусь примером создания крупного хаба можно назвать Минск, международного – Брест, в небольших городах – Жлобин, Бобруйск и областном центре – Гомель.

Модель, на основании которой определяется потребность создания логистического пассажирского хаба, формируется с учетом объема транспортных услуг и может быть интерпретирована в следующей постановке задачи. Пусть имеется некоторое множество (пассажиропоток) $A_h(i,z)$, обрабатываемое одним транспортным терминалом. Технология обслуживании пассажира или группы пассажиров $a_k \in A_h(k,i,z)$ состоит из совокупности технологических операций, объединяемых множеством

$$A_h(i) = \bigcup_z A_h(i,z). \qquad (1)$$

При поступлении группы пассажиров на терминал она обслуживается всеми его технологическими элементами. Однако необходимым условием по организации обслуживания на пассажирском терминале является равнозначная производительность всех его технологических элементов:

$$\alpha(k,i,z) = \alpha(k,i) = \alpha(i). \qquad (2)$$

При этом учитывается ограничение по выполнимости требуемого набора пассажирских услуг по запросу пассажира на терминале:

– по нормативам затрат на пассажирские операции –

$$\sum_{p=1}^{P} \alpha(k,i,z)_p\, t(k,p)\, g(k,p;i,z) = W(i,z); \qquad (3)$$

– по фонду времени загрузки пассажирского терминала вида транспорта, включённого в структуру хаба, –

$$\omega(k,0) + \sum_{p=1}^{P} [t(k,p) + \omega(k,p)]_p = T(k) \le T_{rm}, \qquad (4)$$

где $t(k,p)$ – длительность очереди обслуживания пассажиров на терминале; $g(k,p;i,z)$ – целочисленные переменные $k,p;i,z$; $W(i,z)$ – нормативные затраты выполнения пассажиро-операции на терминале вида транспорта; $\omega(k,0)$, $\omega(k,p)$ – длительность перерыва между обслуживаемыми пассажирами (нулевым и последующими); $T(k), T_{rm}$ – фонд времени k-го элемента и терминала в целом.

В модели используется критерий оптимальности

$$K_{опт} = E_{обс} + E_{ит} + E_{пас}, \qquad (5)$$

где $E_{обс}$ – затраты на обслуживание пассажиров; $E_{ит}$ – затраты на использование информационных технологий; $E_{пас}$ – потери при оказании транспортных услуг пассажирам.

При этом

$$E_{обс} = \sum_{(k,p)} \sum_{(i,z)} e_{обс}(k,p;i,z)\alpha(k,p;i,z)t(k,p)\, g(k,p;i,z); \qquad (6)$$

$$E_{ит} = \sum_{(k,p)} \sum_{(i,z)} \sum_{(j,v)} e(k,p;i,z;j,v)\, g(k,p;i,z), g'(k,p+1;j,v); \qquad (7)$$

$$E_{пас} = e_{пас} \sum_{k} \sum_{(i,z)} e_{пт}(i,z) \int_0^T Q(k,p,z;t)\,dt, \qquad (8)$$

где $e_{обс}(k,p;i,z)$ – единичные расходы на выполнение вокзальных услуг для пассажира; $e_{пт}(i,z)$ – удельные потери пассажирского терминала при оказании транспортных услуг пассажирам.

В условиях массового спроса пассажирами на транспортные услуги главное внимание уделяется закреплению многооперационного распределения их выполнения между пассажирскими терминалами различных видов транспорта без учёта операторов.

Преобразуем ограничение (3) следующим образом:

$$\alpha(k,i,z) \sum_{(k,p)} t(k,p)\, g(k,p;i,z) = W(i). \qquad (9)$$

При условии $T(i) = W(i)/\alpha(k,i,z)$, преобразование модели обоснования создания пассажирского хаба выполняется видоизменением системы логических целочисленных функциональных переменных. Принятый подход к организации хаба основан на условии, что существуют различные пассажиропотоки с качествами i и j. При этом устанавливаются требования к логическим переменным при выполнении условия для выделенного p

$$g(k,p;i,z) = 1 \qquad (10)$$

для всех $k \in A(i,z); i \in \Phi(\varepsilon); z \in Z(i)$ вместо переменных $g(k,p;i,z)$ для модели вводятся переменные $\delta(\varepsilon,p)$:

$$\delta(\varepsilon,p) = \begin{cases} 1, \text{ при условии, что имеется очередь} \\ \quad \text{обслуживания пассажиров по варианту } \Phi(\varepsilon); \\ 0 \text{ в остальных случаях.} \end{cases}$$

Вводится также $g(p) = \sum_{\varepsilon} g(\varepsilon,p)$, с учётом которого определяются показатели длительности затрат времени на совместное обслуживание пассажиропотоков в узле при переходе их между транспортными подсистемами от варианта $\Phi(\varepsilon)$ к варианту $\Phi(\varepsilon')$. Для выполнения оценочных расчетов вводятся множества

$$\varphi(\varepsilon,\varepsilon') = \Phi(\varepsilon)/\Phi(\varepsilon'); \qquad (11)$$

$$\psi(\varepsilon,\varepsilon') = \Phi(\varepsilon')/\Phi(\varepsilon), \qquad (12)$$

которые определяют последовательность обслуживания пассажиропотоков определенного вида транспорта, которые необходимо увязать с обслуживанием при переходе от варианта $\Phi(\varepsilon)$ к варианту $\Phi(\varepsilon')$. При этом часть пассажиропотока (как правило, транзитного) продолжает непрерывно обслуживаться.

Множество видов транспортных услуг, оказываемых на пассажирском терминале, которые необходимо адаптировать на различные виды пассажиропотоков, обозначается через $B(\varepsilon,\varepsilon')$, которое объединяет элементы пассажирской инфраструктуры хаба. При выполнении условия

$$k \in A(i,z) \bigcap A(j), \qquad (13)$$

когда $i \in \varphi(\varepsilon,\varepsilon'), j \in \psi(\varepsilon,\varepsilon')$, что показывает необходимость перехода к обслуживанию пассажиров по вариантам $\Phi(\varepsilon)$ и $\Phi(\varepsilon')$.

В предлагаемой модели обоснования создания нового хаба длительность перехода на новый формат обслуживания пассажиров его технологическими элементами предполагает $\tau(k;i,z;j,v) = \tau(k;i,j)$, так как операции транспортного обслуживания пассажиров определяются однозначно элементами инфраструктуры хаба в зависимости от типа пассажиропотока. Часто имеется потребность одновременного выполнения многих вариантов транспортного обслуживания пассажиров по видам сообщений с интеграцией этих действий на различных видах транспорта при их непосредственном контакте. В этом случае длительность перехода по отмеченным вариантам определяется при минимальном значении

$$\tau(\varepsilon,\varepsilon') = \min \tau(k;i,j). \qquad (14)$$

При этом минимальное значение выбирается по всем значениям $k \in \Pi(\varepsilon,\varepsilon'); i \in \varphi(\varepsilon,\varepsilon'); j \in \psi(\varepsilon,\varepsilon')$. В другом случае адаптация структурных элементов хаба может осуществляться последовательно. Тогда определение $\tau(\varepsilon,\varepsilon')$ потребует предварительного суммирования некоторых значений $\tau(k;i,j)$ и выбора среди этих сумм минимальной по параметру затрат времени пассажиром в пунктах пересадки с одного вида транспорта на другой.

Полезным для условий региональных населённых пунктов Республики Беларусь может быть практический опыт реализации модели на примере хаба «Синдзюку» в Токио. С момента открытия (1885 г.) это хаб с самым большим пассажиропотоком в мире (более 3,5 млн чел. в день). Существует более двухсот выходов со станции, в том числе через подземные торговые ряды. В транспортный комплекс интегрированы железнодорожный вокзал, две станции метро, автовокзалы для

межрегионального и регионального сообщений, около 20 автобусных остановок, два крупных подземных торговых центра и шесть универмагов (рисунок 5).

Рисунок 5 – Пассажирский хаб «Синдзюку»

Хаб расположен в плотной городской застройке. Он объединяет железнодорожный транспорт (городской, пригородный, междугородний и аэроэкспресс до аэропорта Нарита), метро, лёгкое метро, автобусные терминалы. Железнодорожной секцией хаба ежедневно пользуются около 1,5 млн пассажиров.

Выводы:

1 Пассажирские терминалы на различных видах транспорта являются частью логистической системы пассажирских перевозок в транспортной системе страны и функционируют под влиянием характерных системообразующих факторов, в зависимости от значений которых определяются условия формирования пассажирских хабов и эффективности их функционирования.

2 Пассажирские хабы и города взаимосвязаны и взаимозависимы. С одной стороны, они обеспечивают бесперебойное снабжение, что создает условия для развития экономики, а с другой – агломерации требуют разрешения логистических проблем.

3 С учетом целей, стоящих перед пассажирскими распределительными центрами – хабами, определяются их задачи, функциональная структура, бюджетирование, учитывающие рост качества интегрированного обслуживания пассажиров в транспортных узлах.

Список литературы

1 **Bates, J. J.** Econometric issues in stated preference analysis / J. J. Bates // Journal of Transport Economics and Policy. – London, 1988. – No. 23 (1). – P. 59–69.

2 Cost Benefit Analysis of Transport Infrastructure Projects. Economic Commission for Europe. United Nations. – New York, 2015. – 469 p.

3 **Bertolini, L. L.** Spatial development patterns and public transport: the application of an analytical model in the Netherlands / L. L. Bertolini // Planning, Practice and Research. – 1999. – No. 14. – P. 199–210.

4 **Chorus, P.** An application of the node- place model to explore the spatial development dynamics of station areas in Tokyo / P. Chorus // The Journal of Transport and Land Use. – 2011. – Vol. 4. – No. 1. – P. 45–48.

5 **Peek, G.** Gaining insight in development potential of station areas: A decade of Node-Place modelling in the Netherlands / G. Peek // Planning, Practice and Research. – 2006. – Vol. 21. – No. 4. – P. 443–462.

6 **Лебедева, О. А.** Современная модель организации мультимодальных межрегиональных пассажирских перевозок в условиях агломерации / О. А. Лебедева // В мире научных открытий. – № 6 (86). – 2015. – С. 21–216.

7 **Лебедева, О. А.** Обзор существующих характеристик маршрутной сети / О. А. Лебедева // Современные технологии и научно-технический прогресс : тезисы докл. – СПб., 2013. – С. 43.

8 Критерии оценки качества обслуживания городским пассажирским транспортом / И. М. Попова [и др.] // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2015. – Т. 35. – С. 126–130.

9 **Голоскоков, Н. Н.** Инновационная логистика в реформировании и развитии сферы услуг пассажирского железнодорожного транспорта / Н. Н. Голоскоков // Креативная экономика. – 2006. – № 6 (6). – С. 75–82.

10 **Ерошкин, И. Н.** Управление городским пассажирским транспортом на основе логистической парадигмы / И. Н. Ерошкин [и др.] // Инновационная деятельность. – СПб. – 2013. – № 1 (23). – С. 92–97.

11 **Миротин, Л. Б.** Логистика: общественный пассажирский транспорт : [моногр.] / Л. Б. Миротин [и др.]. – М., 2003. – 224 с.

Получено 10.08.2018

A. A. Mikhalchenka, T. A. Vlasuk. Modeling the development of passenger hubs in the transport system of the Republic of Belarus.

The estimation of a retrospective of development of logistics of passenger transportations and influencing factors on change of their volumes is given. The paper presents a formalization of the construction of models for the development of passenger hubs using the basics of transport systems and processes. The main theoretical positions on the substantiation of the creation and operation of passenger hubs are given, taking into account modern requirements for the development of passenger flows of various technological orientations.

УДК 656.07

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

РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТНОГО СООБЩЕНИЯ И АГЛОМЕРАЦИИ

Эволюция планировочной схемы любого города на протяжении сотен лет имеет тесную взаимосвязь между его территориальным развитием и развитием транспорта, и наоборот, исчерпав возможности существующего транспорта, город «требует» его совершенствования. В свою очередь транспорт, совершенствуясь, создает новые условия для развития города, исходя из численности его жителей и занимаемой территории, что приводит к урбанизации, увеличению темпов ее роста и, как следствие, формированию и развитию агломераций.

Немецкий географ Иоганн Коль в работе «Транспорт и поселения людей в их зависимости от форм земной поверхности», опубликованной в 1841 г., на основании оценки влияния физико-географических, политических и культурных факторов на транспортную емкость территории и конфигурацию транспортной сети сделал вывод, что благодаря разным комбинациям этих факторов могут формироваться четыре типа транспортной организации пространства:

1) моноцентрические (четыре диаметра проходят через центр);

2) система, ориентированная во вне (центры находятся на периферии);

3) ареал, непроходимый изнутри (центры и пути образуются снаружи ареала);

4) транспортная система, свободно и легко проходимая внутри (водная, представляет собой полный граф) [1].

Далее И. Коль на примере дорожной системы Москвы впервые предложил иерархическую модель дорожного хозяйства, где указал существование иерархии в дорогах (наличие главных и второстепенных дорог), которые сходятся в центре в форме графа. При этом одна вершина высшего уровня графа связана с несколькими вершинами второго уровня, каждая из которых в свою очередь связана ребрами с несколькими вершинами третьего уровня и т. д. (вариант нисходящей иерархии, когда главная вершина изображается в верхней части). Возможен обратный вариант восходящей иерархии. Города рассматриваются как транспортные узлы системы дорог и соответственно иерархия этих дорог определяет иерархию городов (рисунок 1).

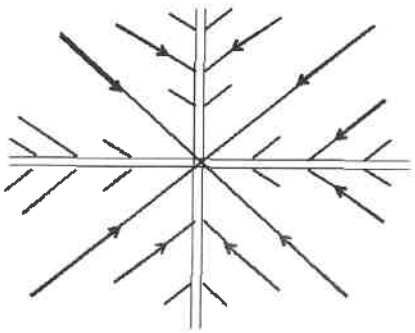


Рисунок 1 – Транспортная модель И. Коля

В 1863 г. Лаланн Л. на основании анализа взаимосвязи иерархии сети городов и развития транспортных сетей на примере зарождающихся национальных железных дорог Европы и США установил, что в ходе формирования транспортной сети дороги образуют треугольные ячейки (циклы), которые группируются по шесть в шестиугольники вокруг главных центров. Из каждого узла выходят в среднем 6 транспортных путей, а из столиц – 12 [2].

Идеалом транспортной сети является гомогенная шестиугольная решетка транспортной сети. Эту идею шестиугольников в размещении поселений на идеальной равнине независимо от Л. Лаланна предложил через 70 лет в своей теории центральных мест немецкий географ В. Кристаллер [2]. Предложенный им транспортный принцип позволяет минимизировать протяженность транспортной сети, т. е. наиболее экономное соединение всех пар поселений обеспечивается за счет железнодорожного сообщения [1].

На рисунке 2 приведены территориальные возможности расселения населения с учетом развития рельсового транспорта.

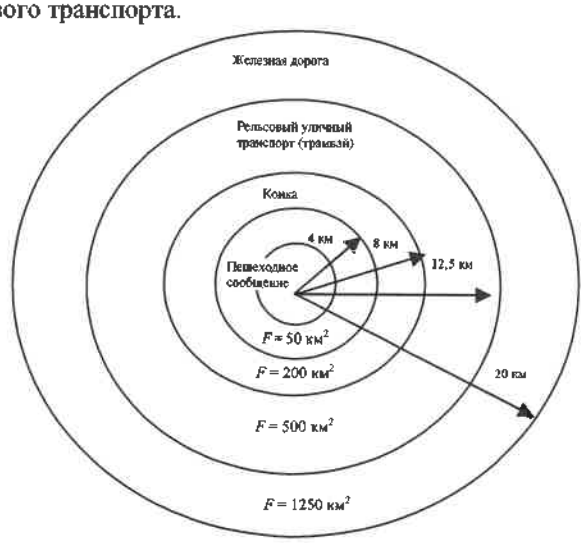


Рисунок 2 –Территориальные возможности расселения населения с учетом развития рельсового транспорта

Как видно из рисунка 2, при пешеходном сообщении город сохраняет свою функциональную целостность на незначительной территории, а при транспортном сообщении – располагает возможностью расселения населения на площади до 1250 км^2 [3]. Благодаря транспорту, город имеет возможность развиваться, увеличивать площадь расселения, что приводит к образованию агломераций, в которых вокруг города-центра формируются населенные пункты (города-спутники), расположенные на некотором расстоянии от него (рисунок 3). Город-спутник создает единую систему с городом-центром и объединен с ним дезурбанистской концепцией.

При этом он не сливается с мегаполисом, так как имеет необходимую транспортную инфраструктуру, позволяющую значительной части населения таких городов работать в мегаполисе благодаря транспортной доступности до города-центра. Это способствует расширению территорий расселения и приводит к увеличению средней дальности поездки.

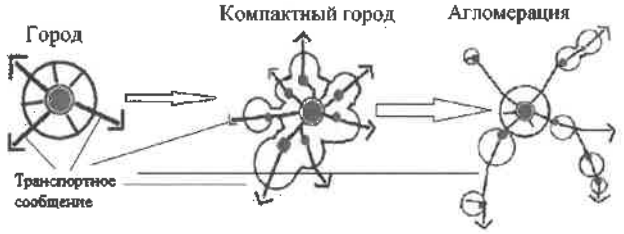


Рисунок 3 – Этапы развития агломерации

На рисунке 4 приведена территориальная структура агломерации (по Лаппо Г.), в которой в процессе развития образуются пояса городов-спутников, что требует соответствующего транспортного сообщения.

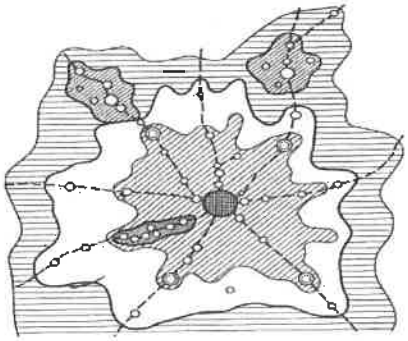
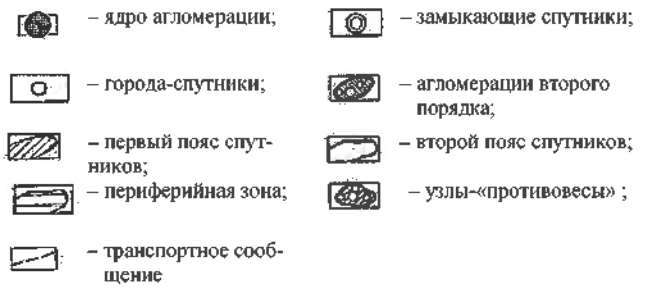


Рисунок 4 – Территориальная структура агломерации:



На основании территориальных возможностей расселения населения с учетом развития транспорта в агломерации могут быть выделены различные зоны, которые формируются в зависимости от расположения города-центра (ядра) и миграционных процессов (рисунок 5).

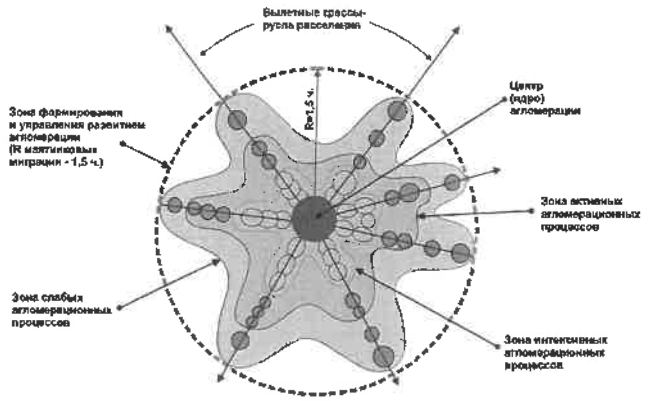


Рисунок 5 – Зоны агломерационных процессов

Представленные на рисунке 5 различные зоны агломерационных процессов различаются по характеру и интенсивности взаимодействия, плотности населения и транспортного сообщения между городами-спутниками. В зоне интенсивных агломерационных процессов образуется первый пояс городов-спутников, которые мо-гут представлять собой продолжение города-центра. Здесь наблюдается высокая плотность населения и наиболее густая сеть дорог. В городах-спутниках первого пояса высокая доля жителей, работающих в центральном городе, а также значителен и встречный поток маятниковых мигрантов, выезжающих из города-центра для работы в спутниках и в основном «оседающих» в первом поясе. В развитых агломерациях ближайшие спутники подобны периферийным районам города-центра, с которыми у них установлены тесные транспортные связи. Они аналогичны периферийным районам центрального города по функциям, составу населения и характеру застройки, что позволяет обеспечивать рабочими местами жителей других поселений и расширить границы агломерации [3].

Зона активных агломерационных процессов характерна для сложившейся и устоявшейся агломерации и может быть представлена вторым поясом городов-спутников. Здесь наблюдается более низкая плотность населения и густота дорожной сети. В зоне второго уровня спутников имеются и биполярные образования, вследствие повышенной концентрации населения и производства, осложняющих планировочную и экологическую обстановку.

Зона слабых агломерационных процессов представлена замыкающими городами-спутниками, которые располагаются там, где имеются интенсивные потоки маятниковой миграции. Замыкающие спутники имеют приоритетное значение при разработке проектов, позволяющих уменьшить трудовые потоки, направленные к городу-центру [3].

Таким образом, центр (ядро) агломерации, можно сказать, «берет на себя» дополнительные обязательства по обслуживанию поясов городов-спутников и одновременно использует это окружение для решения собственных проблем, что приводит к существенным изменениям самого города, формируя зону управления развитием агломерации [3, 5]. Тогда транспортные связи городов-спутников и города-центра могут быть представлены согласно схеме, приведенной на рисунке 6.

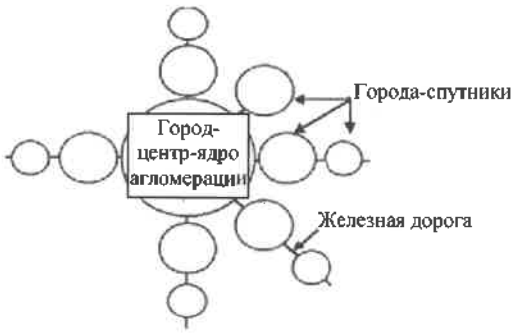


Рисунок 6 – Транспортные связи городов-спутников и города-центра

Анализ рисунков 5 и 6 показал, что при транспортном обслуживании населения по железной дороге могут быть выделены такие его схемы, как радиально-кольцевые, сегментные и линейные (таблица 1).

Таблица 1 – **Варианты развития планировочной структуры агломерации с учетом железнодорожного сообщения**

Транспортная схема	Варианты развития планировочной структуры агломерации
Радиально-кольцевая	Поясное развитие (создание кольца городов-спутников, I пояс, II пояс и т. д.)
Лучевая	Секторное развитие (вдоль сходящихся к городу-центру железнодорожных участков)
Линейная	Направленное развитие вдоль железнодорожных участков

Анализ железнодорожных перевозок между городами-центрами и их спутниками показал, что сегодня имеется ряд вопросов по транспортному обслуживанию населения данных селитебных территорий, определяемых их потенциалом и приоритетным направлением развития, решение которых неразрывно связано с их историческим развитием и формированием единого агломерационного пространства, являющегося урбанизированной территорией с густой сетью населенных пунктов, связанных транспортными коммуникациями.

Фазы развития урбанизации приведены в таблице 2 [5].

Таблица 2 – **Фазы развития урбанизации**

Фазы урбанизации	Схема	Условные обозначения	
Доиндустриальная			Территориальная структура города
Секторальная			Развитие территориальной структуры города
Концентрическая			Транспортная сеть с пересадочными и узлами
Индустриальная			Транспортные коммуникации (железная дорога, автомобильная дорога)
Постиндустриальная			Историческая территория города
			Территориальное приращение города

Сегодня исследователями в различных странах мира доказано, что по сравнению с городом агломерация является более сложной системой, имеющей новые отличительные признаки: пространственную структуру, планировку и располагает значительно большими возможностями для эффективного социокультурного развития населения. Поэтому агломерация в XXI в. становится распространенной формой городского расселения и для многих стран, например США, Японии, большинства стран Западной Европы является основной, доля которой постоянно увеличивается во многих развивающихся странах. Так, в 1700 г. на Земле существовал всего 31 город с населением более 100 тыс. чел., в 1800 – 65, в 1850 – 114, в 1900 – 326, в 1950 – 670 и в настоящее время – более 2 тысяч. В начале XXI в. в мире насчитывалось более 20 городов с населением более 10 млн жителей.

Стремительные темпы урбанизации обусловлены развитием промышленности и транспорта, без которых сегодня ни один город не способен функционировать и которые обеспечивают динамику его развития за счет появления новых видов деятельности, транспорта и расширения сети дорог. Это способствует постоянным миграциям жителей и многофункциональному использованию территорий с реорганизацией урбанизированных пространств и повышению удельного веса городского населения в стране, регионе, мире, возникновению и совершенствованию все более сложных сетей коммуникаций и систем городов (таблица 3).

Таблица 3 – **Динамика изменения соотношения численности населения**

Континент	Численность, млн чел.		Доля в общей численности городского населения, %	
	1995 г.	2025 г. (прогноз)	1995 г.	2025 г. (прогноз)
Африка	250	804	34	54
Европа	535	598	74	83
Северная и Центральная Америка	332	508	68	79
Южная Америка	249	406	78	88
Азия	1198	2718	35	55
Океания	20	31	70	75
Всего	2584	5065	45	61

В настоящее время в мире численность горожан достигла 3,3 млрд человек и десятимиллионную численность сегодня имеют более двух десятков мегаполисов, а в 400 городах проживает 1 млн жителей. Следует отметить, что в Европе 50 % городского населения проживает в небольших городах от 5 до 10 тыс. человек и 25 % – городах от 10 до 250 тыс. человек и выше. Исследователи утверждают, что если существующая тенденция продолжится, то население городов будет удваиваться каждые 38 лет, что приведет к увеличению территорий, занятых городами, которые сегодня составляют лишь около 1 % площади суши.

Необходимо отметить, что увеличение численности городского населения приводит к формированию не только агломераций, но и конурбаций как городских агломераций полицентрического типа, объединяющих значительные территории в сложную многокомпонентную динамическую систему с интенсивными производственными, транспортными и культурными связями.

В классификационной градации принадлежность городов к определенному типу агломерации или конурбации зависит от установившихся культурных и деловых связей их жителей с главным городом или несколькими городами агломерации. При этом необходимо

учитывать, что следствием процесса агломерирования, проявляющегося в территориальной концентрации производств и других экономических объектов, является возникновение так называемого агломерационного эффекта, т. е. суммировании экономического и демографического потенциалов нескольких территориальных образований и достижении максимально эффективного результата за счет комплексного перераспределения ресурсов и минимизации издержек.

Для крупнейших конурбаций мира (Бостон, Нью-Йорк, Филадельфия, Балтимор, Детройт, Кливленд, Питсбург, Чикаго, Токио, Иокогама, Кавасаки, Нагоя, Киото, Осака, Лондон, Бирмингем, Манчестер, Ливерпуль и др.) на железнодорожный транспорт приходится свыше 75 % агломерационных эффектов за счет ускорения перевозок грузов и пассажиров [4, 5]. Именно развитие железнодорожного транспорта способствовало объединению городов в агломерации и далее в конурбации (рисунок 7).

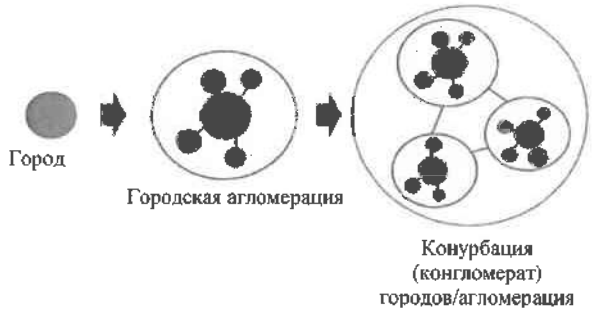


Рисунок 7 – Схема развития конурбации

Следует отметить, что в Республике Беларусь агломерации не отличаются таким «размахом» по численности населения и его пространственной рассредоточенностью, что связано с относительно низким уровнем его массовой автомобилизации до настоящего времени, ибо личный транспорт обеспечивает высокую степень свободы относительно размещения места жительства и работы. При этом необходимо учесть закономерности расселения населения по отношению к фокусу тяготения, выявленные в конце XIX в. и связанные с именем венского инженера фон Лилль Э., который исследовал железнодорожные пассажирские перевозки направления Вена – Берн – Прага и предложил математическую зависимость (степенную функцию), получившую впоследствии широкое распространение при расчетах транспортных потоков. Выявленная закономерность позволила установить, что с увеличением расстояния уменьшается количество расселяющихся относительно центра тяготения. В начале XX в. предложенная закономерность претерпела изменения и была представлена как обобщенный закон Лилля для установления тарифов на городском пассажирском транспорте.

В научной литературе до настоящего времени недостаточно полно представлены системные исследования в области развития городов-спутников с учетом железнодорожного сообщения.

Таким образом, исторически зародившаяся в начале XX века тенденция концентрации городского населения вдоль железнодорожных магистралей актуальна и в настоящее время, получив особое развитие в XXI веке, что позволяет железнодорожному транспорту продолжать оставаться важнейшим элементом в системе транспортного обслуживания населения агломераций [4]. Данное направление сегодня изучено недостаточно и особенно, с учетом изменившихся, по сравнению с XX веком условий, в которых доминирует автомобильный транспорт, находящийся в постоянной конкуренции с железнодорожным.

При этом следует отметить, что одним из основополагающих элементов данного процесса является миграция населения, которая, оказывает значительное влияние, прежде всего, на динамику численности населения в городе-центре. Она является, можно сказать, «питающей артерией», дающей возможность городу-центру иметь постоянный ресурс рабочей силы, который, как отмечают исследователи, оказывает существенное влияние на рынок труда, может привести к изменению экономического и социального положения населения, что нередко сопровождается ростом образовательной и профессиональной подготовки, расширением потребностей участвующих в миграции людей. Помимо этого массовая миграция может быть причиной роста безработицы, сильного давления на социальную инфраструктуру города-центра (жилье, здравоохранение и др.), что приводит к экономическому спаду одних районов и концентрации населения в других. В связи с этим проблема миграции населения является актуальной для города-центра и его спутников и требует ее изучения в контексте транспортного развития, особенно железнодорожного транспорта, отличающегося своевременностью прибытия в пункт назначения согласно расписанию и независимо от погодных условий.

Список литературы

1 **Kohl, J. G.** Der Verkehr des Menschen in seiner Abhängigkeit von der Erdoberfläche / J. G. Kohl. – Dresden, 1841.

2 **Шупер, В. А.** Самоорганизация городского расселения / В. А. Шупер. – М. : Рос. открытый ун-т, 1995. – С. 5–9.

3 **Лаппо, Г. М.** География городов : учеб. пособие / Г. М. Лаппо. – М. : Гуманит. изд. центр «ВЛАДОС», 1987. – 480 с.

4 **Власюк, Т. А.** Оценка влияния урбанистических процессов на организацию пригородных перевозок на железнодорожном транспорте в США и Западной Европе // Материалы V Международной научно-практической конференции «Маркетинг и логистика в системе менеджмента на железнодорожном транспорте». – Киев, 2015. – С 53–58.

5 **Кюммель, Т.** Стадиальная концепция урбанизации: методология и методы анализа / Т. Кюммель // Методы изучения расселения. – М. : ИГ АН СССР, 1987. – С. 82–100.

Получено 20.10.2018

T. A. Vlasuk. Retrospective analysis of the relationship of the Development of Rallway transport Communication and agglomeration.

The evolution of the planning scheme of any city for hundreds of years has a close relationship between its territorial development and the development of transport and vice versa, having exhausted the possibilities of existing transport, the city "requires" its improvement. In turn, transport, while improving, creates new conditions for the development of a city, based on the number of its inhabitants and the territory it occupies, which leads to urbanization, an increase in its growth rate and, as a result, the formation and development of agglomerations.

ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

УДК 621.331

В. Я. НЕГРЕЙ, доктор технических наук, М. А. МАСЛОВСКАЯ, аспирант, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

СФЕРА РАВНОЭКОНОМИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВОЗНОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ НА БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

Выполнен анализ значений критического объема перевозок в различных странах, при котором себестоимость перевозок при электрической тяге ниже себестоимости перевозок при тепловозной тяге. Установлена зона равноэкономических решений применения электрической и тепловозной тяги на участках Белорусской железной дороги в зависимости от грузонапряженности и причина появления зоны равноэкономических решений, заключающаяся в неполноте исходной информации, способствующая появлению нескольких целесообразных решений при различных исходных данных стоимости дизельного топлива и электроэнергии. Уточнена методика выбора экономически целесообразной грузонапряженности от минимальной до максимальной при переходе к электрической тяге.

Ключевые слова: железная дорога, экономически целесообразная грузонапряженность, тепловозная тяга, электрическая тяга, скорость, электрификация.

Железные дороги оказывают большое влияние на социально-экономическое развитие отдельных регионов и страны в целом. Современные железные дороги являются сложными инженерными сооружениями со своей инфраструктурой и особенностями. В Республике Беларусь железнодорожная сеть в основном уже сформирована и поэтому требуется только ее развитие. Для реконструкции железных дорог намечается комплекс мероприятий по усилению и переустройству железнодорожной линии. Основой реконструкции железнодорожного транспорта в Республике Беларусь в настоящее время является электрификация главных направлений сети.

Увеличение провозной способности железных дорог до определенных размеров обеспечивается проведением организационно-технических мероприятий при сохранении существующего технического оснащения железнодорожной линии. К ним относятся: сокращение станционных интервалов, уплотнение графика движения поездов, уменьшение неравномерности движения по времени, ликвидация ограничений скорости движения поездов из-за состояния пути и искусственных сооружений и некоторые другие.

Организационно-технические мероприятия, требующие меньших капиталовложений, обычно предшествуют реконструкции эксплуатируемой дороги. Иногда организационно-технические мероприятия сочетаются с реконструктивными. Например, при увеличении массы состава поезда за счет организационных мероприятий (более полное использование грузоподъемности вагонов или накопленной кинетической энергии поезда) может потребоваться удлинение приёмо-отправочных путей на раздельных пунктах [7].

К реконструктивным мероприятиям относятся: реконструкция плана линии, оборудование более совершенными устройствами связи и СЦБ, двухпутные вставки, двухпутные перегоны, сооружение второго главного пути, электрификация участков железной дороги.

Проектирование электрификации однопутных железных дорог предусматривает предварительное исследование и возможность повышения провозной способности за счет организационно-технических (повышения норм массы поездов, открытия дополнительных разъездов на перегонах, ограничивающих пропускную способность) и реконструктивных мероприятий (сооружение двухпутных вставок для безостановочных скрещений поездов, строительство двухпутных перегонов и сплошного второго пути). На однопутных линиях главный путь предназначен для движения поездов в обоих направлениях и при остановочном движении поездов применяют три способа движения поездов: непакетный, частично-пакетный и пакетный. На однопутных линиях с двухпутными вставками применяется непакетное движение с безостановочным скрещением поездов. На однопутно-двухпутных линиях применяется пакетное движение с безостановочным скрещением поездов. На двухпутных линиях, где пути специализированы по направлениям, применяется пачечный и пакетный способы организации движения поездов.

Электрификация железной дороги не только существенно повышает пропускную и провозную способности линии, но и одновременно увеличивает производительность труда и дает большую экономию энергетических ресурсов. Электрификация в 3–5 раз дешевле, чем строительство второго главного пути [5].

В Европе пассажирское движение преобладает над грузовым. Именно пассажирское движение обусловило лидирующую роль электрификации железных дорог, так как электротяга даёт возможность реализовать высокие скорости, большие ускорения и более благоприятна в отношении экологических воздействий железной дороги на окружающую среду, что особенно важно для густонаселенной Европы [8].

В Китае в 2008 году Национальная комиссия развития реформ разработала национальный железнодорожный план, ориентированный на увеличение протяженности действующей железнодорожной сети до 120000 км к 2020 году и увеличение уровня электрификации до 60 %.

На электрифицированных ходах основные эксплуатационные показатели, определяющие эффективность

перевозочного процесса (средний вес грузового поезда, средняя участковая скорость, среднесуточный пробег локомотива), на 20–30 % выше, чем на линиях с тепловозной тягой. Электрическая тяга имеет более высокую энергетическую эффективность по экономии топливно-энергетических ресурсов: удельный расход условного топлива на измеритель ниже в 1,6 раза [5].

На зарубежных дорогах в последние 10–15 лет наблюдается интенсификация прироста электрифицированных линий, что вызвано конкурентной привлекательностью скоростного и высокоскоростного железнодорожного сообщения, низкой себестоимостью перевозок по сравнению с автомобильным и авиационным транспортом, усилением требований экологической безопастности.

Промышленно развитые страны отдают предпочтение электрифицированным железным дорогам. Ведь высокие скорости невозможны без электрической тяги, особенно в сложных условиях рельефа местности.

В последние годы Белорусская железная дорога развивается в направлении расширения объемов перевозок, электрификации наиболее значимых участков, ввода в эксплуатацию нового электроподвижного состава, повышения скоростей движения пассажирских и грузовых поездов.

На Белорусской железной дороге электрифицировано 20,5 % от протяжения всей железнодорожной сети. В связи со строительством Белорусской АЭС и пуском в эксплуатацию ее первой очереди в 2019 году, электроэнергия подешевеет, и электрификация станет экономически обоснованной на грузонапряженных участках. К 2030 году возможна электрификация еще 14 % железнодорожных путей. Это известные участки Белорусской железной дороги: граница России – Витебск – Полоцк – Бигосово – граница Беларуси с Латвией, Барановичи – Лунинец – Калинковичи, Жлобин – Могилев – Орша – Витебск [4].

На электрификацию железной дороги требуются значительные капиталовложения для создания соответствующей инфраструктуры (внешнее энергоснабжение, тяговые подстанции, контактная сеть, предприятия обслуживания и ремонта устройств электроснабжения). Поэтому для перехода на электрическую тягу требуется определить экономически целесообразный грузооборот, при котором себестоимость перевозок при электрической тяге была бы меньше, чем при тепловозной.

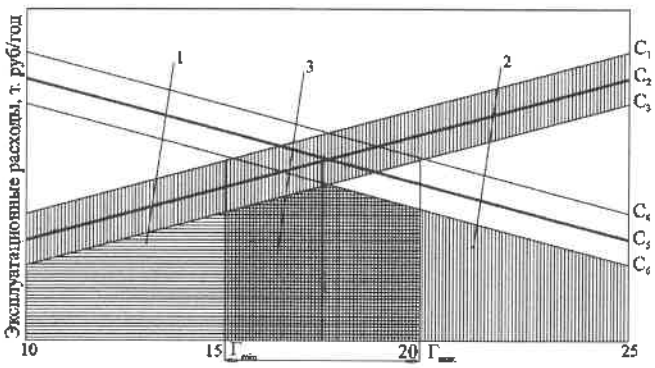
Согласно исследованиям ВНИИЖТа для Российских железных дорог он составляет 20–25 млн т·км на 1 км, для Польши – 10 млн т·км на 1 км, Германии – 16 млн т·км на 1 км, Великобритании – 4–6, Беларуси – 15–20 млн ткм на 1 км (согласно расчетам по авторской методике [3] , по которой впервые для Белорусской железной дороги определен экономически целесообразный грузооборот). При использовании электроэнергии от Белорусской АЭС величина грузооборота будет смещаться в меньшую сторону, приближаясь к 15 млн т·км на 1 км.

Перспективные объемы работы являются неопределенной величиной и изменяются в значительных пределах (оптимистический и пессимистический сценарии развития). Неполнота исходной информации создает ситуацию для появления ряда оптимальных решений при различных сочетаниях исходных данных, что приводит к образованию зоны равноэкономических решений (заштрихована на рисунке 1).

Экономически целесообразная грузонапряженность, при которой себестоимость перевозок при электрической тяге равна себестоимости перевозок при тепловозной тяге, составляет 17 млн т·км на 1 км (пересечение линий со значениями C_2 и C_5 на рисунке 1). Очевидно, что она напрямую зависит от соотношения стоимостей электроэнергии и топлива на тягу поездов, содержания инфраструктуры, эксплуатационных расходов всех организаций, занятых перевозками.

Эксплуатационные расходы подсчитаны методом расходных ставок, включающих расходы по движению грузовых поездов (локомотиво-километры, локомотиво-часы, вагоно-километры, вагоно-часы, тонно-километры брутто, бригадо-часы локомотивних бригад, расход топлива и электроэнергии); расходы на остановки поездов, включающие разгон и торможение поездов; расходы по содержанию постоянной инфраструктуры железной дороги (линейные сооружения и устройства, контактная сеть, тяговые подстанции, раздельные пункты, снегоочистка путей); амортизационные отчисления на содержание постоянных устройств дороги (земляное полотно, верхнее строение железнодорожного пути, трубы, мосты, устройства энергоснабжения) при существующей инфраструктуре и при электрификации железной дороги [10].

График зависимости суммарных приведенных расходов от грузонапряженности для одного из участков Белорусской железной дороги при различной стоимости 1 кг дизельного топлива и 1 кВт·ч электроэнергии показан на рисунке 1. Из графика следует, что существует довольно широкая зона значений равноэкономических решений целесообразного перехода к электрической тяге (рисунок 1), ниже которой стоимость инфраструктуры электрификации завышена (при малых значениях перевозок), а выше она компенсируется более высокими технико-экономическими показателями электрической тяги (при больших размерах перевозок) [3].



Грузонапряженность, млн т·км/км в год

Рисунок 1 – Сфера целесообразности использования различных видов тяги:
C_1, C_2, C_3 – стоимость 1 кг дизельного топлива, руб.;
C_4, C_5, C_6 – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб.;
1 – сфера целесообразности тепловозной тяги;
2 – сфера целесообразности электрической тяги;
3 – сфера равноэкономических решений

Минимальная граница экономически целесообразной грузонапряженности получается точкой пересечения кривых C_1 и C_6 на рисунке 1, максимальная – пересечением кривых C_3 и C_4. Зона равноэкономических решений имеет ширину от минимальной до максимальной грузонапряженности и составляет для рассматриваемого участка железной дороги 15–20 млн т·км на 1 км в год.

При подсчете суммарных приведенных расходов учитываются капитальные вложения на электрификацию с начала рассматриваемого периода (с приобретением необходимого количества локомотивов инвентарного парка) и соответствующие эксплуатационные расходы, меняющиеся во времени в зависимости от грузонапряженности [10].

Способ расчета основан на том, что все затраты, совершаемые в разные этапы, приводятся к сопоставимому виду, т.е. к текущему нулевому году. Приведение затрат будущих лет к затратам текущего года рекомендовано отраслевой инструкцией железнодорожного транспорта и относится как к капитальным вложениям, так и к эксплуатационным расходам [10].

Подсчет суммы приведенных расходов производится по формуле

$$П = K_0 + \sum_{1}^{t_1} \frac{C_{t_1}}{(1+E_{нп})^{t_1}} + \frac{K_1}{(1+E_{нп})^{t_1}} + \sum_{t_1+1}^{t_2} \frac{C_{t_2}}{(1+E_{нп})^{t_2}} + \frac{K_2}{(1+E_{нп})^{t_2}} + \ldots + \frac{K_n}{(1+E_{нп})^{t_n}} + \sum_{t_n+1}^{T} \frac{C_т}{(1+E_{нп})^{t}},$$

где П – общая сумма расходов, приведенных к нулевому году; K_0 – первоначальные капитальные вложения; $K_1,\ldots, K_n$ – капитальные вложения, производимые поэтапно через $t_1,\ldots, t_n$ лет в период эксплуатации объекта; $C_{т1}$, $C_{т2}$, …, $C_т$ – ежегодные эксплуатационные расходы за время между двумя смежными этапами капитальных вложений; $E_{нп}$ – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений (коэффициент дисконтирования затрат).

На раздельных пунктах существующего участка железной дороги имеется достаточное количество приемо-отправочных путей и ранее был организован частично-пакетный график движения поездов, поэтому дополнительных капиталовложений на его введение не потребуется.

Выводы.

1 В каждой стране, где эксплуатируются электрифицированные железные дороги, определены экономически целесообразные объемы перевозок, при которых себестоимость перевозок при электрической тяге ниже себестоимости перевозок при тепловозной тяге.

2 Перед разработкой проекта электрификации участка однопутной железной дороги необходимо исследовать возможность повышения провозной способности за счет повышения весовой нормы поездов, строительства двухпутных вставок и второго главного пути.

3 Установлена зона равноэкономических решений целесообразного использования различных видов тяги, при которой, если грузонапряженность меньше критической, то целесообразно использовать тепловозную тягу, больше критической – электрическую тягу. (Критическая грузонапряженность имеет место при действующих цепях на дизельное топливо и электроэнергию.

4 Неопределенность исходных данных приводит к появлению зоны равноэкономических решений использования тепловозной и электрической тяги. Для Белорусской железной дороги эта зона находится в интервале грузонапряженности 15–20 млн т·км на 1 км. При уменьшении стоимости электроэнергии грузонапряженность будет смещаться в меньшую сторону.

Список литературы

1 Государственная программа развития транспортного комплекса Республики Беларусь на 2016–2020 годы: постановление Совета Министров Республики Беларусь № 345 от 28.04.2016. – 33 с.

2 **Негрей, В. Я.** Электрификация Белорусской железной дороги – фактор повышения эффективности и качества ее работы / В. Я. Негрей, М. А. Масловская // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2017. – № 2. – С. 76–79.

3 **Негрей, В. Я.** Целесообразность электрификации участков железной дороги / В. Я. Негрей, М. А. Масловская // Вестник Украинского гос. у-та ж.-д. трансп. – 2018. – № 62. – С. 96–104.

4 **Масловская, М. А.** Электрификация Белорусской железной дороги и скоростное движение поездов / М. А. Масловская, Н. В. Довгелюк // Энергоэффективность. – 2018. – № 5. – С. 28–32.

5 Беларусь к 2030 году завершит электрификацию основных грузонапряженных участков : [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.belta.by/economics/ view. – Дата доступа : 16.12.2016.

6 Формирование транспортной политики Республики Беларусь в едином экономическом пространстве / О. С. Булко [и др.] // Институт экономики НАН Беларуси : Беларуская навука, 2014. – 194 с.

7 **Довгелюк, Н. В.** Реконструкция железных дорог : пособие / Н. В. Довгелюк, Г. В. Ахраменко, В. А. Вербило. – Гомель : БелГУТ, 2017. – 339 с.

8 **Житенев, Ю. А.** Высокоскоростное движение – прыжок в будущее / Ю. А. Житенев // Обозреватель журнала «Мир путей сообщения». – М., 2013.

9 Корпоративные новости Белорусской железной дороги: [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.rw.by/corporate/. – Дата доступа : 10.12.2016.

10 **Масловская, М. А.** Особенности реконструкции железных дорог при электрической тяге : учеб.-метод. пособие по курсовому и дипломному проектированию / М. А. Масловская, Н. В. Довгелюк. – Гомель : БелГУТ, 2018. – 63 с.

Получено 31.10.2018

V. Ya. Negrai, M. A. Maslovskaya. Sphere of equal economic solutions of the appropriate use of diesel and electric traction on the Belarusian railway.

The analysis of the values of the critical volume of traffic in different countries, in which the cost of transportation with electric traction is lower than the cost of transportation with diesel traction has been made. The zone of equal economic solutions of electric and diesel traction application has been established on the sections of the Belarusian railway depending on the load intensity and the reason for the emergence of the zone of equal economic solutions, consisting in the incompleteness of the initial information, contributing to the emergence of several appropriate solutions for different input data on the cost of diesel fuel and The method of selection of economically expedient load-bearing capacity from minimum to maximum at transition to electric traction has been specified.

Key words: railway, economically expedient load-bearing capacity, diesel traction, electric traction, speed, electrification.

УДК 629.4.014.76

Л. В. ОСИПЕНКО, научный сотрудник, Е. Н. ПОТЫЛКИН, научный сотрудник, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ИССЛЕДОВАНИЕ ДОХОДОВ БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВАГОНА ИНВЕНТАРНОГО ПАРКА ЗА ПРЕДЕЛАМИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Рассмотрен оборот вагона инвентарного парка по Белорусской железной дороге и с выходом его за пределы Республики Беларусь, рассчитаны доходы железной дороги от перевозок грузов в вагонах инвентарного парка, плата за пользование такими вагонами за время их нахождения на территории других железнодорожных администраций, определены размеры сокращения доходов дороги при эксплуатации инвентарных вагонов на иностранных железных дорогах и потребные размеры увеличения ставки платы за их использование другими железнодорожными администрациями.

В начале 90-х годов прошлого века после развала Советского Союза государства – участники Содружества Независимых Государств – Азербайджанская Республика, Республика Грузия, Латвийская Республика, Литовская Республика и Эстонская Республика (далее – участники Содружества) – заключили Соглашение о разделении инвентарных парков грузовых вагонов и контейнеров бывшего Министерства путей сообщения СССР между собой и их дальнейшем совместном использовании.

Эксплуатация вагонов инвентарного парка и порядок взаиморасчетов за пользование такими вагонами на сети железных дорог государств – участников Содружества регламентируется Правилами эксплуатации, пономерного учета и расчетов за пользование грузовыми вагонами собственности других государств (далее – Правила пономерного учета) [2].

По данным Отчета о наличии, распределении, работе и использовании подвижного состава формы ЦО-1 за 12 месяцев 2017 года средний оборот вагона на Белорусской железной дороге был равен 3,87 суток, а согласно [3] оборот общего грузового вагона на железных дорогах государств – участников Содружества в аналогичном периоде составил 13,49 суток.

Если вагон инвентарного парка эксплуатируется только в пределах железнодорожной администрации – собственницы вагонов, за месяц вагоном может быть выполнено большее количество оборотов по сравнению с обращением на сети железных дорог Содружества. С целью оценки риска недополучения дохода необходимо определить доходы железной дороги в первом и во втором случаях.

При эксплуатации вагонов инвентарного парка Белорусской железной дороги (далее – вагон инвентарного парка БЧ) только во внутриреспубликанском сообщении при условии максимально полного его использования ежемесячный доход железной дороги от перевозок составит

$$Д_{РБ} = П_{РБ} n_{РБ}, \quad (1)$$

где $П_{РБ}$ – плата за перевозку груза в инвентарном вагоне во внутриреспубликанском сообщении согласно постановлению № 8 [1] за один оборот вагона; $n_{РБ}$ – количество оборотов вагона инвентарного парка БЧ при обращении внутри республики в течение месяца; определяется по формуле

$$n_{РБ} = \frac{30}{\Theta_{РБ}}, \quad (2)$$

где $\Theta_{РБ}$ – средний оборот вагона по территории Республики Беларусь, сут.

Плата за перевозку груза в инвентарном вагоне представляет собой суммарный доход от перевозки за время оборота, включая груженый и порожний рейсы, т.к. расходы на порожний пробег инвентарного вагона включены в тариф на перевозку груза, и определяется по формуле

$$П_{РБ} = Б_{жд} k_1 k_2 + Т, \quad (3)$$

где $Б_{жд}$ – тариф на перевозку груза локомотивом перевозчика в вагоне перевозчика; k_1 – коэффициент, зависящий от тарифного класса перевозимого груза; k_2 – дополнительный коэффициент, применяемый для ряда грузов внутри тарифных классов; Т – тариф на выполнение технических и технологических операций по организации и осуществлению перевозок грузов в вагонах перевозчика.

При эксплуатации вагонов инвентарного парка БЧ на сети железных дорог – участниц Содружества количество оборотов вагона за месяц составит

$$n_{общ} = \frac{30}{\Theta_{общ}}, \quad (4)$$

где $\Theta_{общ}$ – средний оборот общего грузового вагона инвентарного парка по сети железных дорог в сутках, при этом часть времени оборота приходится на территорию Республики Беларусь ($\Theta_{общ}^{РБ}$), а вторая часть – на территорию других государств – участников Содружества ($\Theta_{общ}^{др.гос}$):

$$\Theta_{общ} = \Theta_{общ}^{РБ} + \Theta_{общ}^{др.гос}. \quad (5)$$

На территории Республики Беларусь осуществляется погрузка вагона и часть груженого и порожнего рейсов, а по территории других государств – оставшаяся часть груженого и порожнего рейсов и выгрузка:

$$\Theta_{общ}^{РБ} = T_{гр}^{РБ} + T_{пор}^{РБ} + T_{п}; \quad (6)$$

$$\Theta_{общ}^{др.гос} = T_{гр}^{др.гос} + T_{пор}^{др.гос} + T_{в}. \quad (7)$$

Графически оборот вагона внутри республики и с выходом на территорию других государств представлен на рисунках 1 и 2.

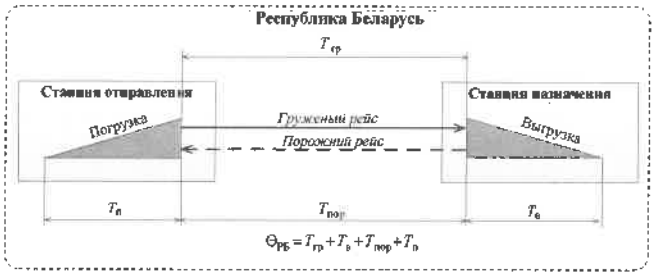


Рисунок 1 – Схема оборота вагона инвентарного парка БЧ по территории Республики Беларусь

Доход Белорусской железной дороги от перевозок грузов в вагонах инвентарного парка БЧ в международном сообщении будет определяться по формуле

$$Д_{общ} = (П^{РБ}_{общ} + П^{др.гос}_{общ}) n_{общ}, \qquad (8)$$

где $П^{РБ}_{общ}$ – плата за перевозку груза в инвентарном вагоне по территории Республики Беларусь до государственной границы за время одного оборота вагона согласно постановлению № 8 [1]; $П^{др.гос}_{общ}$ – плата за пользование грузовым вагоном инвентарного парка БЧ за все время его нахождения на территории государств – участников Содружества согласно Правилам пономерного учета.

Плата за перевозку по территории Беларуси определяется по формуле (3), а плата за пользование грузовым вагоном инвентарного парка другими железнодорожными администрациями рассчитывается по формуле

$$П^{др.гос}_{общ} = С_п \Theta^{др.гос}_{общ}, \qquad (9)$$

где $С_п$ – ставка платы за пользование грузовыми вагонами согласно приложению 5 к Правилам пономерного учета.

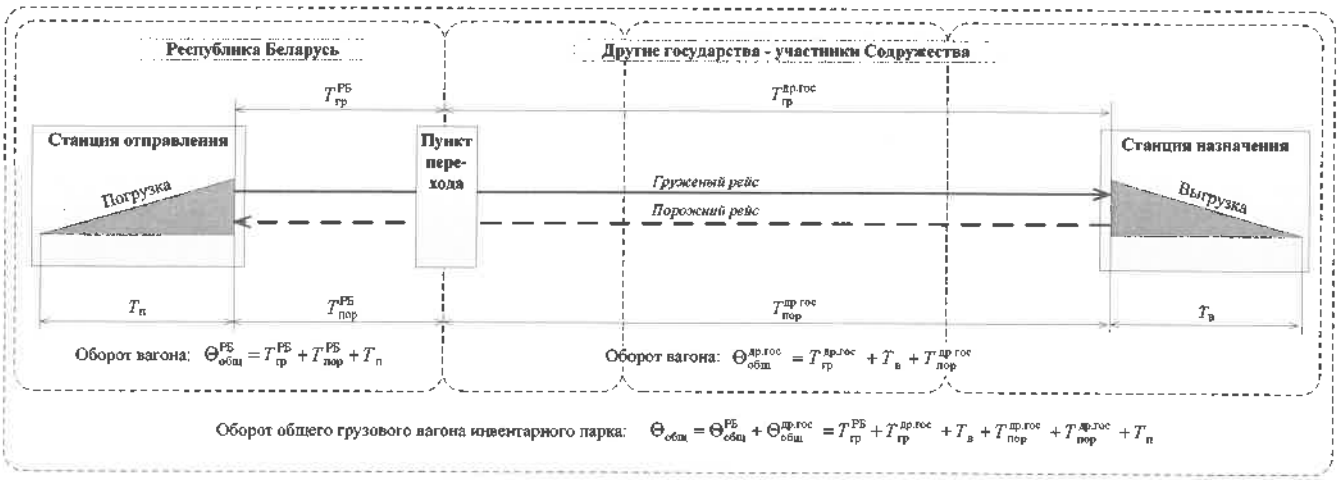


Рисунок 2 – Схема оборота вагона инвентарного парка БЧ с выходом на сеть железных дорог – участниц Содружества по территории Республики Беларусь

Исходя из сложившихся за 2017 год значений продолжительности оборота вагона внутри республики и с выходом за ее пределы на территорию государств – участников Содружества и тарифных ставок, предусмотренных указанными ранее нормативными документами, определим средний ежемесячный доход Белорусской железной дороги в случае перевозки в универсальном полувагоне абстрактного груза 2-го тарифного класса, не требующего применения при тарификации дополнительных повышающих или понижающих коэффициентов:

а) при работе инвентарного вагона только на территории Беларуси

$$n_{РБ} = \frac{30}{3,87} = 7,75 \text{ оборота.}$$

Так как среднее расстояние перевозки груза по Белорусской железной дороге согласно Отчету о перевозке грузов формы ЦО-12 в 2017 году составило 333 км, а средняя статическая нагрузка полувагона на основании приложения 3 к Отчету о погрузке грузов формы ГО-10 равна 55 т, тарифы групп Б и Т по соответствующим тарифным схемам будут равны: Б1 = 738,77 руб./ваг., Т3 = 182,87 руб./ваг. Для груза второго тарифного класса коэффициент k_1 = 1,00, дополнительные повышающие коэффициенты отсутствуют, и в расчетах принимается k_2 = 1,00. Тогда плата за перевозку во внутриреспубликанском сообщении составит

$$П_{РБ} = 738,77 \cdot 1 \cdot 1 + 182,87 = 921,64 \text{ руб./ваг.}$$

Ежемесячный доход Белорусской железной дороги от перевозок в инвентарном полувагоне будет

$$Д_{РБ} = 921,364 \cdot 7,75 = 7142,71 \text{ руб./ваг.};$$

или 3375,25 дол. США за вагон по курсу Национального банка Республики Беларусь на 06.09.2018, равному 2,1162 руб. за один доллар США;

б) при работе инвентарного вагона в международном сообщении –

$$n_{общ} = \frac{30}{13,49} = 2,22 \text{ оборота.}$$

Плата за перевозку груза по территории Республики Беларусь определяется аналогично первому случаю и для среднедорожных условий составит 435,52 дол. США за вагон.

Плата за пользование вагоном инвентарного парка, взимаемая с других государств – участников Содружества, определяется по ставке 21,03 шв. фр./ваг. сут за 13,49 – 3,87 = 9,62 сут.

Тогда плата в пользу Белорусской железной дороги за время нахождения вагона инвентарного парка на территории иностранных железных дорог в течение оборота составит

$$П^{др.гос}_{общ} = 21,03 \cdot 9,62 = 202,31 \text{ шв.фр./ваг. в месяц,}$$

или 439,36 руб./ваг. по курсу Национального банка Республики Беларусь на 06.09.2018, равному 2,1717 руб. за один швейцарский франк.

Ежемесячный доход Белорусской железной дороги от перевозок в инвентарном полувагоне в этом случае составит

$$Д_{общ} = (921{,}64 + 439{,}36) \cdot 2{,}22 = 3021{,}42 \quad \text{руб./ваг.},$$

или 1427,76 дол. США за вагон в месяц.

Определим размер дохода, недополученного Белорусской железной дорогой вследствие нахождения вагона на территории других государств, который определяется разницей между доходом при курсировании вагона во внутриреспубликанском сообщении и доходом при выходе такого вагона за пределы Республики Беларусь:

$$\Delta Д = Д_{РБ} - Д_{общ}^{др.гос}; \qquad (10)$$

$\Delta Д = 3375{,}25 - 1427{,}76 = 1947{,}49$ дол. США за вагон в месяц, или 1947,49 · 12 = 23369,88 дол. США/вагон в год.

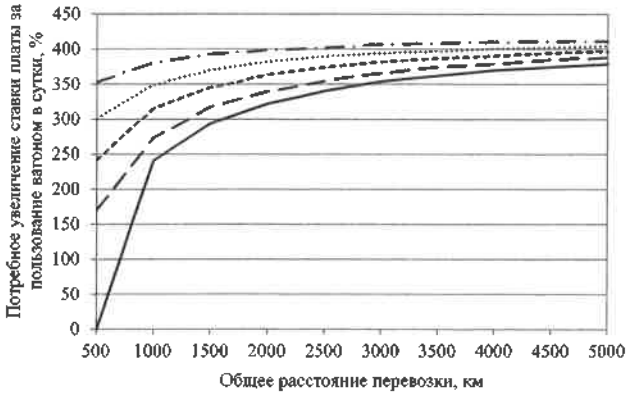
При условии применения скидки в размере 20 % к плате за пользование вагонами при нахождении вагона инвентарного парка БЧ на территории Российской Федерации размер недополученного дохода еще увеличится:

$$Д_{общ} = (921{,}64 + 439{,}36 \cdot (1 - 0{,}2)) \cdot 2{,}22 = 2826{,}34 \quad \text{руб./ваг.}$$

или 1335,58 дол. США/вагон в месяц;

$\Delta Д = 3375{,}25 - 1335{,}58 = 2039{,}67$ дол. США за вагон в месяц, или 2039,67 · 12 = 24476,04 дол. США / вагон в год.

Результаты выполненных теоретических исследований доходов железной дороги от перевозки груза в вагоне инвентарного парка БЧ только по территории Беларуси и в международном сообщении с выходом на железные дороги государств – участников Содружества показали, что для Белорусской железной дороги наиболее целесообразно использовать свои инвентарные вагоны на своей же территории. При расчете доходы от внутриреспубликанских перевозок определялись для среднестатистического расстояния и соответствующего времени оборота вагона, а доходы от международных перевозок рассчитывались для различных вариантов соотношения расстояний, пройденных вагоном по Белорусской железной дороге (от 100 до 500) и по железным дорогам других государств (от 500 до 5000). Ориентировочное увеличение размера ставки платы за использование инвентарного вагона БЧ другими железнодорожными администрациями согласно Правилам пономерного учета показано на рисунке 3.



Потребное увеличение ставки платы за использование вагона БЧ другими администрациями при расстоянии перевозки по БЧ, км

Рисунок 3 – Относительные размеры потребного увеличения платы за пользование грузовыми вагонами принадлежности других железнодорожных администраций

Следовательно, для получения железной дорогой дохода от перевозок грузов в вагонах инвентарного парка в международном сообщении, сопоставимого с доходом, который может быть получен от внутриреспубликанских перевозок в таких вагонах, необходимо увеличение ставки платы за пользование вагонами других железнодорожных администраций в среднем в 3,5 раза.

Список литературы

1 Инструкция о порядке установления и применения тарифов на перевозку грузов по территории Республики Беларусь железнодорожным транспортом общего пользования, кроме перевозок грузов, следующих транзитом по территории стран – участниц Единого экономического пространства, а также работы (услуги), связанные с организацией и осуществлением этой перевозки [Электронный ресурс] : офиц. сайт Белорусской железной дороги. – Минск, 2018. – Режим доступа : https://www.rw.by/uploads/userfiles/files/postanovlenie _8_22_01.pdf. – Дата доступа : 16.09.2018.

2 Правила эксплуатации, пономерного учета и расчетов за пользование грузовыми вагонами собственности других государств [Электронный ресурс] : офиц. сайт Латвийской железной дороги. – Рига, 2018. – Режим доступа : https://www.ldz.lv/lv/system/files/01_KV_A_Padome_Pilnvaroto%20sanaksme%2024.05.1996_Padome_15_8.pdf. – Дата доступа : 17.09.2018.

3 Протокол шестьдесят восьмого заседания Совета по железнодорожному транспорту государств – участников Содружества [Электронный ресурс] : офиц. сайт Совета по железнодорожному транспорту государств – участников Содружества. – Москва, 2018. – Режим доступа : http://www.sovetgt.org/ed/upload-files/docs/deyatelnost_soveta/zasedaniya_soveta/Protokol_68.pdf. – Дата доступа : 18.09.2018.

Получено 28.09.2018

L. V. Osipenko. E. N. Potylkin. The research of income of the Belarusian railway when operating the wagon of the inventory park outside the Republic of Belarus.

Considered the turnover of the wagon of the inventory park on the Belarusian railway and going beyond it, calculated the income of the railway from the carriage of goods in the wagons of the inventory park, the fee for using these wagons during their stay on the territory of other railway administrations, determined the size of the reduction in revenues of railway when operating the wagon of the inventory park on foreign railways and the required size of the increase in the rate of payment for their use by other railway administrations.

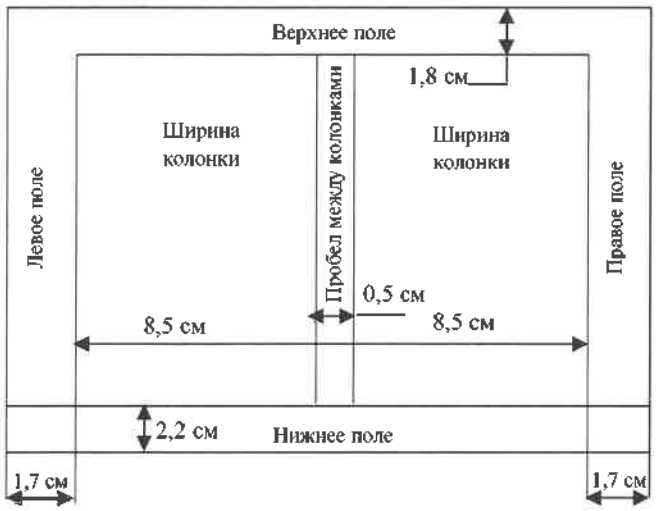
ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

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) и тщательно отредактирована. Одновременно текст статьи представляется на электронном носителе в редакторе «Word» в виде обычного текстового файла – по фамилии автора (авторов), шрифт – Times New Roman (адрес электронной почты: tatiana-101@list.ru).

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 3 полных страниц текста формата А4, напечатанного в две колонки шрифтом 10 pt по следующему образцу:



4 Текст статьи должен содержать:

– в левом верхнем углу первой страницы – индекс УДК (высота символов 10 pt).

– через интервал на формат 17,5 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 17,5 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 17,5 см – аннотация, в которой дается краткая характеристика статьи (высота букв – 9 pt, объём – до 10 строк, или 100–150 слов);

– через интервал в две колонки форматом 8,5 см каждая, с интервалом между ними 0,5 см – текст статьи (высота букв – 10 pt), межстрочный интервал – одинарный, абзац – 5 мм, или 3 печатных знака.

– через интервал в две колонки форматом 8,5 см каждая – список литературы (высота букв – 9 pt);

– через интервал – дата поступления рукописи в редколлегию (высота букв – 8 pt); например: Получено 05.06.2009;

– через интервал на формат 17,5 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. постановка задачи;

— 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 5 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 светлый строчной), 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 3) 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 гарнитуры, 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.