



ВЕСТНИК

Белорусского
Государственного
Университета
Транспорта

**НАУКА
и ТРАНСПОРТ**

2/2017

«ВЕСТНИК БелГУТа: НАУКА И ТРАНСПОРТ»

Научно-практический журнал № 2 (35) 2017 года

Издается с апреля 2000 года

Выходит один раз в полугодие

У ч р е д и т е л и:

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) 71-29-28

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

На белорусском и русском языках

Редакторы: *И. И. Эвентов, А. А. Павлюченкова*
Технический редактор *В. Н. Кучерова*
Корректор – *Т. А. Пугач*
Компьютерная верстка – *С. В. Ужанкова*

Подписано в печать 28.12.2017 г. Формат 60x84¹/₈. Бумага офсетная.
Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 20,00. Уч.-изд. л. 20,02. Тираж 100 экз. Изд. № 66. Зак. №

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

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ТРАНСПОРТА

Галай Э. И., Рудов П. К., Галай Е. Э. Эффективность торможения локомотивов пневматическим тормозом	5
Елисеев С. В., Каимов Е. В., Кинаш Н. Ж. Приводимость, парциальность систем и их связей к эквивалентным формам: генезис рычажных связей	8
Ананьева О. С., Подольская В. Н. Методика расчета переходных процессов при совместной работе системы тягового электроснабжения метрополитена с накопителями электрической энергии	17
Самсонов Н. А., Захаренко В. С., Шевчук В. Г. Современное положение и перспектива развития методов непрерывной диагностики состояния высоковольтных электродвигателей	22
Бурченков В. В. Оптимизация параметров регулятора скорости горючего тепловоза	24
Децук В. С. Методы снижения выбросов загрязняющих веществ при сжигании органических топлив в котлах ТЭС	27

АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ

Комнатный Д. В. Теоретические основы проектирования алгоритмов статистической обработки сигналов в микропроцессорных приемниках тональных рельсовых цепей	30
Евдасев И. С., Галушко В. Н., Дробов А. В. Моделирование системы электроснабжения нетяговых потребителей железнодорожного транспорта	33
Шевченко Д. Н. Вероятность последовательного накопления отказов при регулярном тестировании объекта	37
Буй П. М., Кульгавик С. Г. Методика перекрестной оценки угроз и уязвимостей безопасности объектов информатизации железнодорожного транспорта	40
Шевчук В. Г., Белоусова Е. С., Ганцевич Ю. С. 3D-моделирование системы видеонаблюдения транспортного цеха предприятия	44

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

Аземша С. А., Парфёнова В. Б. Разработка путей снижения негативного воздействия автомобилизации в Республике Беларусь на состояние здоровья и продолжительность жизни населения	47
Могила В. С., Аземша С. А., Галушко В. Н. Определение обобщенного показателя сложности для городской транспортной маршрутной системы г. Гомеля	52
Судаков С. С., Аземша С. А., Галушко В. Н., Маслович С. Ф. Повышение эффективности деятельности ГАИ г. Гомеля за счет создания web-сервиса	55
Карасевич С. Н., Аземша С. А. Организация дорожного движения в контексте целей устойчивого развития	58
Ковтун П. В., Александров Д. Ю., Швачич Ю. Н. Проблемы переустройства пересечений городских улиц	62
Власюк Т. А., Михальченко А. А., Ходоскина О. А. Развитие системы смешанных региональных пассажирских перевозок различными видами транспорта	65

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

Кулаженко Ю. И., Ерофеев А. А., Кузнецов В. Г. Система управления безопасностью участника перевозочного процесса на железнодорожном транспорте	70
Негрей В. Я., Масловская М. А. Электрификация Белорусской железной дороги – фактор повышения эффективности и качества ее работы	76
Еловой И. А., Потылкин Е. Н. Оптимизация работы при погрузке готовой продукции из производства в перевозочные средства	80
Михальченко А. А., Гурский Е. П. Оптимизация развития транспортной системы и производства на транспорте	86
Аксёничков А. А. Влияние затрат времени на операции по обработке поездов, следующих в международном сообщении, на срок доставки груза	91
Алейников Р. С. Современные методы локации подземных коммуникаций на железнодорожных станциях	95
Кузнецов В. Г., Страдомский М. Ю. Обеспечение комплекса услуг при поездках пассажиров в поездах различных категорий	98
Терещенко О. А., Сидорович Ю. С. Методика оценки энергоэффективности графика движения поездов	103
Терещенко О. А. Оценка технологических рисков в задачах оперативного планирования местной работы железнодорожных участков и узлов	106
Власюк Т. А. Анализ миграционных процессов на территории Республики Беларусь середины XIX – начала XXI веков в контексте развития железнодорожного транспорта	110
Федоров Е. А. Организация перевозочного процесса с использованием процессно-объектного графика движения поездов на инфраструктуре железнодорожного транспорта	114

Фёдоров Е. А., Килочицкая М. А. Необходимые условия и принципы организации интермодального пассажирского сообщения с участием железнодорожного и автомобильного транспорта в Республике Беларусь	119
Негрей В. Я., Шкурин К. М. Развитие теории расчета плана формирования однопутных поездов.....	123
Еловой И. А., Петрачков С. А. Концептуальные положения развития контейнерных перевозок в Республике Беларусь.....	127

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Талецкий В. В. Методика определения постоянных коэффициентов упругости ортотропных грунтов.....	131
Васильев А. А. Оценка применимости бетонов в железобетонных элементах и конструкциях для различных эксплуатационных условий.....	133
Поддубный А. А., Яровая А. В. Методика проведения испытания трехслойной балки, частично опертой на упругое основание.....	136
Степанова А. В. Зоны конвекции и диффузии в кривых проникновения хлоридов в железобетонные конструкции	139
Алейников Р. С. Обеспечение рационального использования водных ресурсов в системе водоснабжения железнодорожных станций	141
Баранчик А. В., Баранчик В. Г. Дефекты, возникающие при производстве сэндвич-панелей из минераловатных плит	144
Ладных И. А. Сравнительный анализ ТЭП методов усиления при примере усиления деревянных арок.....	146
Васильев А. А., Козунова О. В. Расчеты на прочность композиционных элементов ограждающих конструкций энергоэффективных зданий вариационно-разностным методом	148
Чепурной А. Д., Сенько В. И., Макеев С. В., Литвиненко А. В., Шейченко Р. И., Граборов Р. В., Ткачук Н. А., Бондаренко М. А. Решение задач анализа и синтеза сложных пространственных тонкостенных конструкций.....	152

ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Чаганова О. С. Экономическая эффективность применения пневмооболочек при перевозке штучных грузов железнодорожным и автомобильным транспортом.....	163
---	-----

ПОДГОТОВКА КАДРОВ

Кулаженко Ю. И., Головнич А. К. Перспективы открытия в Белорусском государственном университете транспорта новой специальности «Эксплуатация объектов нефтепродуктообеспечения».....	166
Гришанкова Н. А. Организация учебного материала как средство интенсификации обучения чтению железнодорожной литературы.....	168
Матибаев Т. Б. Социальное сотрудничество: понятие и сущность.....	172
Попов А. И. Подготовка инженера к творческой деятельности в условиях психологического напряжения.....	175

65 ЛЕТ БелГУТу

Гурский Е. П., Чернин Р. И. Школа белорусских вагонников	179
---	-----

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ТРАНСПОРТА

УДК 629.42.62.-592.52

Э. И. ГАЛАЙ, доктор технических наук, П. К. РУДОВ, кандидат технических наук, Е. Э. ГАЛАЙ, научный сотрудник, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТОРМОЖЕНИЯ ЛОКОМОТИВОВ ПНЕВМАТИЧЕСКИМ ТОРМОЗОМ

Электровозы и тепловозы, работающие на Белорусской ж. д., оснащаются чугунными тормозными колодками, в том числе гребневыми, часть локомотивов оборудуется секционными композиционными колодками. Расчет тормозной силы производится по формулам для стандартных вагонных колодок, которые имеют меньшую площадь трения и другой профиль. Проведены теоретические исследования по определению удельной тормозной силы для локомотивных чугунных колодок.

На Белорусской железной дороге локомотивы оснащены, как правило, гребневыми чугунными тормозными колодками из серого чугуна марки М с содержанием фосфора 0,4–0,9 % [1]. У тепловозов, имеющих бесчелюстные тележки, применяется двухстороннее нажатие колодок на колеса. Тепловозы со старыми челюстными тележками имеют рычажную передачу с одной колодкой на колесо. От этого во многом зависит допускаемая величина силы нажатия, определяемая при проектировании по условиям сцепления. В частности, сила нажатия на колодку (максимальная) при двухстороннем нажатии составляет около 30–35 кН, а при одностороннем – до 80 кН и больше.

Электровозы, как правило, имеют двухстороннюю схему торможения и силу нажатия 35–40 кН. Следует отметить, что в эксплуатации тормозная сила грузовых локомотивов зависит от максимальной скорости, с которой будет следовать поезд. При ведении грузовых поездов (порожних или груженых) со скоростью не более 90 км/ч воздухораспределители грузового локомотива включаются на порожний режим, и сила нажатия колодок не превышает 12–15 кН при двухсторонней или 20–25 кН при односторонней схеме торможения, а если предусмотрено движение со скоростью более 90 км/ч, воздухораспределитель на локомотиве следует включать на груженный режим. Кроме того, тормозная сила локомотива при необходимости может быть увеличена до максимума приведением в действие крана вспомогательного тормоза № 254. Это особенно важно при установке порожнего режима воздухораспределителя. Такое переключение режимов принято в «Правилах технического обслуживания тормозного оборудования и управления тормозами железнодорожного подвижного состава», утвержденных Советом по железнодорожному транспорту государств – участников Содружества (протокол от 6–7 мая 2014 г. № 60).

На современных локомотивах, например грузовых электровозах БКГ-1 и БКГ-2, изготовленных электровозостроительным заводом в г. Датун (КНР) для Белорусской ж. д. и рассчитанных на осевую нагрузку 245 кН, применяются секционные композиционные тормозные колодки при одностороннем нажатии. Каждая колодка приводится в действие от своего тормозного цилиндра и имеет высокий коэффициент трения $\varphi_k = 0,25 \dots 0,30$.

Зависимость коэффициента трения от скорости с соотношением $\varphi_{kmax} / \varphi_{kmin} = 1,2$ не обеспечивает тормозную силу вспомогательного тормоза локомотива, достаточную для удержания поезда с отпущенными тормозами при трогании с места на уклоне больше 3 ‰. Это касается поездов массой 5–6 тыс. т.

Колодочный тормоз обеспечивает очистку поверхности катания, в результате повышается коэффициент сцепления колеса с рельсом, однако при торможении с высоких скоростей в зоне трения возникают повышенные термические нагрузки, особенно на груженом режиме. При чугунных колодках около 20–25 % тепловой энергии отводится через колодки, а коэффициент трения резко уменьшается при высокой скорости и максимальной силе нажатия.

Тормозные колодки бывают различной конфигурации, имеют разную площадь трения, что обеспечивает различную эффективность торможения даже при одинаковом содержании всех компонентов в составе колодки. В частности, для повышения тормозной эффективности локомотивов и реализации максимальной тормозной силы применяют профильную гребневую колодку с повышенным содержанием фосфора типа Р или М по ГОСТ 30249–97. Такая конструкция обеспечивает снижение термического воздействия на поверхность катания колеса и в то же время предохраняет фрикционный узел от сползания колодки.

Гребневые колодки локомотивов типа М имеют 0,4–0,9 % фосфора, их отливают из природно-легированных чугунов, содержащих 0,3–0,6 % хрома и 0,15–0,30 % никеля. На некоторых локомотивах, обращающихся в поездах со скоростями 120 км/ч и более, применяются секционные чугунные тормозные колодки длиной 234 мм.

Коэффициент трения локомотивных тормозных колодок типа М определяется по формуле [2]

$$\varphi_k = 0,5 \frac{1,6K + 100}{5,2K + 100} \cdot \frac{v + 100}{5v + 100}, \quad (1)$$

где K – сила нажатия колодки, кН; v – скорость движения локомотива, для которой рассчитывается коэффициент трения колодки, км/ч.

Расчет φ_k производится для стандартных вагонных чугунных колодок, имеющих площадь трения $F =$

$= 0,0305 \text{ м}^2$. Расчетное нажатие чугунных тормозных колодок большинства тепловозов на груженом режиме составляет 12 т/ось, а на порожнем – 5 т/ось. Для электровозов, имеющих большую осевую нагрузку, сила нажатия равна, соответственно, 14 и 6 т/ось. Это относится к локомотивам, имеющим различные рычажные передачи с одной или двумя колодками на колесо.

Локомотивы с одной колодкой на колесо имеют значительно большую силу нажатия колодки (в 2 раза или больше), в то же время эффективность торможения может оказаться меньше, чем при двухстороннем нажатии.

Тормозные колодки гребневые типа М или Р (рисунок 1) для локомотивов имеют ориентировочно площадь трения $F = 0,0476 \text{ м}^2$ при длине колодки $L = 340 \text{ мм}$. Таким образом, площадь трения гребневой колодки значительно больше, чем у стандартной чугунной колодки.

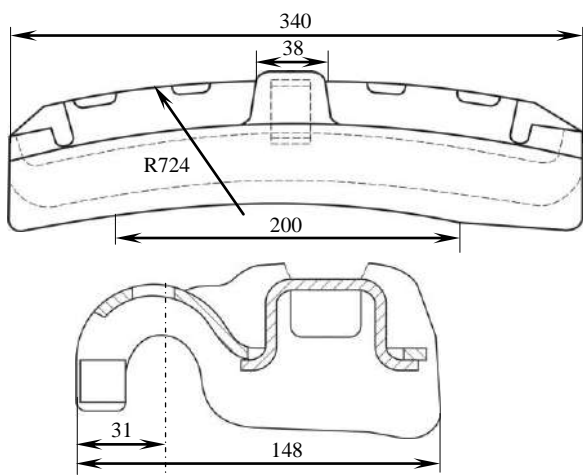


Рисунок 1 – Тормозная колодка гребневая для локомотивов

Одной из характеристик коэффициента трения является его зависимость от величины удельной силы нажатия (давления) $p = K/F$ в контакте «колодка – колесо». Распределение и величина давлений в процессе торможения изменяются в зависимости от силы нажатия, скорости движения, площади трения, физико-химических, механических и габаритных характеристик фрикционного узла. Все перечисленные показатели не могут быть учтены при расчетах коэффициента трения. В настоящее время в формуле обычно учитывается сила нажатия K и скорость движения v . Таким образом,

$$\varphi_k = \alpha \varphi_k(K) \varphi_k(v). \quad (2)$$

Влияние остальных факторов заложено в величине коэффициента α , входящего в формулу (2).

Конструкция колодочного фрикционного узла должна обеспечивать равномерное распределение силы нажатия по площади контакта. В то же время гребневая колодка не может отвечать такому условию. Поэтому для упрощения можно принять ширину дорожки трения с учетом гребня 140 мм. Ориентировочно длина фрикционного контакта приработанной колодки составляет 340 мм.

Подсчитаем коэффициент трения с учетом конструкции колодки, поскольку это фактор, способствующий повышению или уменьшению удельной силы нажатия и изменению коэффициента трения.

Чугунные колодки отличаются крутопадающей характеристикой зависимости коэффициента трения от скорости $\varphi_k(v)$. Рассматривая зависимость φ_k от силы нажатия, т. е. $\varphi_k(K)$, отметим, что она принята для локомотивной безгребневой тормозной колодки из серого чугуна с содержанием фосфора 0,4–0,9 %, имеющей площадь трения $F = 0,0305 \text{ м}^2$, как и стандартные чугунные колодки, применяемые на вагонах, хотя очевидно, что процесс трения и зависимость φ_k от скорости и силы нажатия гребневой колодки с площадью трения $0,0476 \text{ м}^2$ будет отличаться.

Выразим $\varphi_k(K)$ через зависимость $\varphi_k(p)$, принимая $K = 10^3 p F_r$. Тогда

$$p = \frac{K}{10^3 F_r}, \quad (3)$$

где p – давление колодки на колесо при торможении, МПа; F_r – площадь трения гребневой колодки, м^2 .

Следовательно,

$$\varphi_k(K) = \varphi_k(p) = 0,5 \frac{1,6 \cdot 10^3 p F_r + 100}{5,2 \cdot 10^3 p F_r + 100}. \quad (4)$$

Подставляя в формулу значение площади трения $F_r = 0,0476 \text{ м}^2$, получим функцию зависимости коэффициента трения от удельной силы нажатия и скорости для гребневой колодки типа М:

$$\varphi_k = 0,5 \frac{76,16 p + 100}{247,52 p + 100} \cdot \frac{v + 100}{5v + 100}. \quad (5)$$

Теоретические характеристики процесса торможения на площадке одиночного локомотива с гребневыми тормозными колодками при φ_k , рассчитанном по формуле (5), приведены на рисунках 2–4.

Величина допускаемого давления тормозной колодки на поверхность катания колеса для чугунных колодок с содержанием фосфора 0,4–0,9 % составляет 1 МПа при скорости начала торможения до 120 км/ч и 0,7 МПа при скорости до 160 км/ч [2]. Таким образом, максимальная допускаемая сила нажатия на гребневую тормозную колодку (при двухстороннем нажатии) – 47,6 кН, а для скоростных локомотивов – 33,3 кН.

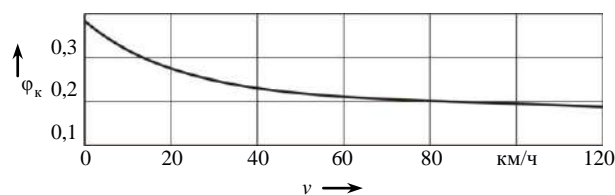


Рисунок 2 – Коэффициент трения гребневой тормозной колодки типа М

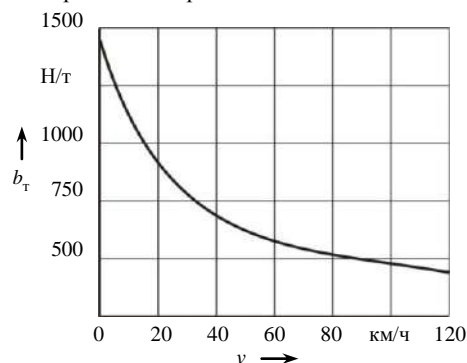


Рисунок 3 – Удельная тормозная сила локомотива с гребневыми колодками

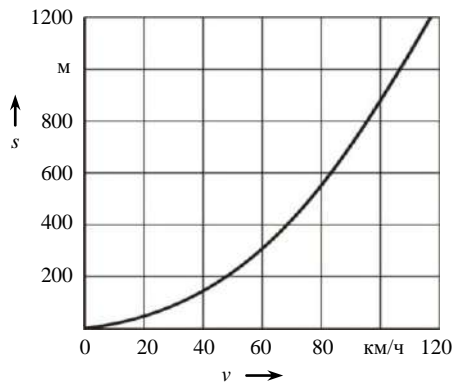


Рисунок 4 – Тормозной путь локомотива с гребневыми колодками при $i = 0 ‰$ и максимальном давлении в ТЦ

Фактически по условиям сцепления сила нажатия принимается меньшей, поскольку чугунные колодки отличаются крутопадающей характеристикой зависимости коэффициента трения от скорости. Исследования ВНИИЖТа показали, что формула (1) адекватно отражает зависимость $\varphi_k(K, v)$ при скорости от 0 до 65 км/ч. При большей скорости коэффициенты трения оказываются ниже. Это объясняется тем, что в формуле не учтено влияние температуры в зоне контакта, а величина коэффициента трения в значительной степени зависит от тепловой нагруженности фрикционного узла, поэтому при начальных скоростях свыше 100 км/ч коэффициент трения для колодок из фосфористого чугуна должен учитывать начальную скорость торможения и может быть рассчитан по формуле (5). Его величина при торможении такими колодками с высоких скоростей оказывается выше, чем при торможении с низких скоростей, так как φ_k зависит от температуры, возникающей в зоне трения.

Характерно, что наибольшая тормозная эффективность фосфористых колодок достигается при высокой температуре зоны трения (выше 300 °С), поэтому такие колодки целесообразно применять для скоростного подвижного состава ($v > 110$ км/ч). В частности, для колодок из высокофосфористого чугуна типа Р коэффициент трения которых с учетом повышенной температуры фрикционного узла может быть рассчитан по формуле В. А. Жарова при начальной скорости торможения более 100 км/ч [4], формула несколько упрощена:

$$\varphi_k = 0,209 - 3,4 \cdot 10^{-3} K - 3,71 \cdot 10^{-4} v_i + 4,09 \cdot 10^{-4} v_n,$$

Получено 21.09.2017

Е. I. Halai, P. K. Rudau, E. E. Halai. Efficiency of braking of locomotives pneumatic brake.

Locomotives working on Belarusian railway are equipped with pig-iron brake shoes, including grebnevy, a part of locomotives is equipped with section composition receptacles. Calculation of brake force is made on formulas for standard carriage receptacles which have the smaller area of friction and other profile. Theoretical researches on determination of specific brake force for locomotive pig-iron receptacles are conducted.

где v_i – мгновенное значение скорости, для которой рассчитывается коэффициент трения, км/ч; v_n – начальная скорость торможения, км/ч.

Если сила нажатия $K = 30$ кН (тепловоз с двухсторонним нажатием), то при максимальной скорости $v_n = 120$ км/ч $\varphi_k = 0,1117$, при скорости 140 км/ч $\varphi_k = 0,112$, а при скорости 160 км/ч $\varphi_k = 0,113$ (рисунок 5).

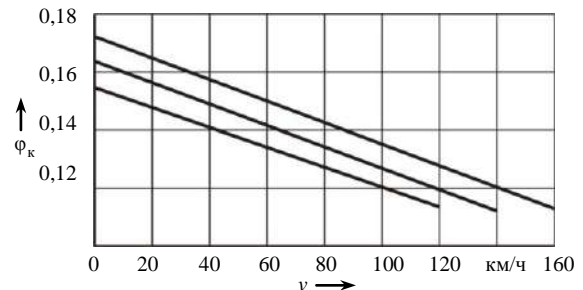


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента трения тормозных колодок из высокофосфористого чугуна от скорости ($K = 30$ кН, двухстороннее нажатие):

1 – $v = 120$ км/ч; 2 – $v = 140$ км/ч; 3 – $v = 160$ км/ч

Удельная тормозная сила поезда несколько меньше, чем тормозная сила отдельного локомотива со включенным груженным режимом. Это связано с тем, что грузовые вагоны имеют одностороннюю схему прижатия композиционных тормозных колодок, и воздухораспределители в поезде включены на средний режим.

Список литературы

- 1 Тормозное оборудование железнодорожного подвижного состава : справ. / В. И. Крылов [и др.]. – М. : Транспорт, 1989. – 487 с.
- 2 **Гребенюк, П. Т.** Тяговые расчеты / П. Т. Гребенюк, А. Н. Долганов, А. И. Скворцова. – М. : Транспорт, 1987. – С. 51–52.
- 3 **Жаров, В. А.** Определение коэффициентов трения тормозных колодок из высокофосфористого чугуна // Эксплуатация автотормозов на подвижном составе железных дорог : сб. науч. тр. / ВНИИЖТ. – М., 1989. – С. 117–120.
- 4 **Bauer, H.** Glasers Annalen / H. Bauer // Фрикционные материалы для тормозов. – 1999. – № 11/12. – С. 472–475.
- 5 **Асташкевич, Б. М.** Перспективные материалы для тормозных колодок / Б. М. Асташкевич, К. Р. Чайковский // Электрическая и тепловозная тяга. – 1992. – № 2. – С. 32(6)

УДК 62.752

С. В. ЕЛИСЕЕВ, доктор технических наук, Е. В. КАИМОВ, младший научный сотрудник, Научно-образовательный центр современных технологий, системного анализа и моделирования, Иркутский государственный университет путей сообщения, Н. Ж. КИНАШ, начальник конструкторского отдела, Дорожный инженерный технологический центр (ДИТЦ) Московской железной дороги, филиала ОАО «РЖД», г. Москва, Российская Федерация

ПРИВОДИМОСТЬ, ПАРЦИАЛЬНОСТЬ СИСТЕМ И ИХ СВЯЗЕЙ К ЭКВИВАЛЕНТНЫМ ФОРМАМ: ГЕНЕЗИС РЫЧАЖНЫХ СВЯЗЕЙ

Рассматриваются задачи взаимодействия характерных элементов в виброзащитных системах, содержащих твердое тело с неподвижной точкой вращения. Твердое тело имеет упругие связи с элементами системы посредством рычажных соединений. Обсуждается методологическая основа приемов построения математических моделей систем в формах структурных схем, соответствующих системам с управлением обратной связью. Предлагаются подходы для получения соответствующих расчетных схем колебательных систем.

Рассматриваются различные варианты появления в системах рычажных связей. Предлагаются новые определения для создания блоков из упруго-массовых элементов и рычажных механизмов, так называемых квазипружин. Получены аналитические соотношения для описания особенностей систем и взаимодействия их элементов.

Предлагается метод построения эквивалентных расчетных схем для систем, имеющих несколько парциальных структур различной физической природы.

Введение. В динамике машин решение задач, связанных с использованием расчетных схем в виде механических колебательных систем, большое значение имеют методы построения и обоснования выбора математических моделей. Линейная теория колебаний в практике исследования динамических свойств и особенности проявления взаимодействия элементов при действии возмущающих факторов является основой более сложных подходов, в рамках которых могут учитываться нелинейные эффекты и континуальность технических систем. Важное значение имеет последовательность усложнения математических моделей в предположении, что многие свойства реальных систем находят отражение в достаточно простых математических моделях [1].

Связи между парциальными структурами в механических колебательных системах в существенной степени определяют возможности динамических состояний взаимодействующих элементов, что нашло отражение во многих известных работах, относящихся к физике, молекулярной механике и теории колебаний [1–5]. Отмечено, что выбор систем обобщенных координат может оказать большое влияние на формы и содержание взаимодействий, что в конечном итоге привело к формированию критериев связности, получивших значительное развитие в молекулярной механике.

Взаимодействие между элементами систем часто рассматривается с использованием представлений о динамических свойствах блоков или структур, что предполагает детализацию внимания к вопросам обоснования выбора типовых элементарных звеньев, способов их соединения и связи движений между блоками. В этом плане имеются тенденции и направления поиска и разработки соответствующих новшеств.

В меньшей степени внимание уделялось взаимодействиям элементов механических колебательных систем, отражающих динамические свойства технических систем. В работах [6–9] последних лет получили развитие некоторые концептуальные представления о возможно-

стях расширения типового набора элементарных звеньев механических колебательных систем, что, в частности, нашло приложение в теории виброзащитных систем, которые в своем составе имеют рычажные механизмы и устройства для преобразования движения. Реализация расширенного набора возникающих форм взаимодействия приводит к необходимости детализации влияния к формам связности парциальных систем, что определяется в значительной мере соотношениями различных видов движений отдельных элементов системы, например вращательных и поступательных движений парциальных структур [10, 11]. Основное внимание при этом уделялось критериям связности, при определении которых предполагалась симметричность взаимодействий и однородность структур парциальных систем.

Вместе с тем существуют различные разновидности механических колебательных систем, в которых парциальные системы имеют движения различных видов, то есть взаимодействия происходят между твердыми телами, совершающими поступательное и вращательное движения.

Некоторые вопросы динамических взаимодействий в такого рода системах рассмотрены в работах [12, 13], однако особенности проявления рычажных связей и их влияние на свойства механических колебательных систем требуют более детализированного изучения.

Разнообразие движений в технических системах находит отображение в том, что механические колебательные системы, привлекаемые как расчетные схемы, включают в свой состав твердые тела конечных размеров. Движение твердых тел, даже в простейших случаях, приводит к необходимости учета пространственных форм движений, а это, в свою очередь, требует учета пространственной метрики движений системы. Сопряжение движений различного вида в структуре одной системы требует учета особенностей в сопряжениях элементов и размерности силовых и кинематических факторов.

В предлагаемой статье развиваются подходы, позволяющие учитывать динамические связи, возникающие в механических колебательных системах при различных видах парциальных движений, в частности, при наличии вращений, что приводит к появлению рычажных связей и соответствующих динамических особенностей. Динамические свойства систем рассматриваются в постановках задач линейной теории виброзащитных систем [6–9].

I Общие положения. Особенность подхода. Рассматривается механическая колебательная система (рисунок 1), в которой массоинерционные элементы могут совершать вращательные и поступательные движения. Система имеет две степени свободы движений, которые могут описываться несколькими системами обобщенных координат. Отметим, что при оценке динамических свойств систем необходимо обращать внимание на однородность координат, что связано с вопросами совпадения размерности реакций связей между парциальными системами.

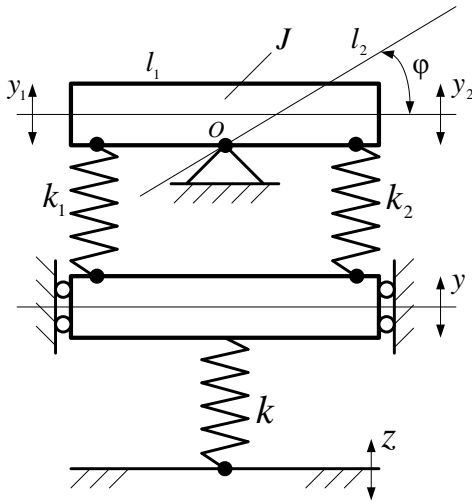


Рисунок 1 – Расчетная схема системы комбинированного типа (поступательное движение – по координате y ; вращательное движение – относительно неподвижной точки O)

Если воспользоваться известной методикой построения математических моделей [6, 7], то уравнения движения при кинематическом возмущении z можно получить, предварительно определив выражения для кинетической и потенциальной энергий:

$$T = \frac{1}{2} m (\dot{y})^2 + \frac{1}{2} J (\dot{\phi})^2; \quad (1)$$

$$\Pi = \frac{1}{2} k (y - z)^2 + \frac{1}{2} k_1 (y_1 - y)^2 + \frac{1}{2} k_2 (y_2 - y)^2. \quad (2)$$

Введем ряд соотношений: $i = l_2/l_1$ – передаточное отношение при вращательном движении твердого тела; $y_2 = iy_1$; $y_1 = \phi l_1$; $y_2 = \phi l_2$. Отметим, что y_1 и y_2 имеют различные направления движения. Выражение (2) можно записать в виде

$$\Pi = \frac{1}{2} k (y - z)^2 + \frac{1}{2} k_1 (\phi l_1 - y)^2 + \frac{1}{2} k_2 (-\phi l_2 - y)^2. \quad (3)$$

Проведем ряд вспомогательных преобразований, обычных при использовании формализма Лагранжа [9]. В координатах y и ϕ система уравнений движения для расчетной схемы на рисунке 1 примет вид

$$m \ddot{y} + y(k + k_1 + k_2) + \phi(k_2 l_2 - k_1 l_1) = kz; \quad (4)$$

$$J \ddot{\phi} + \phi(k_1 l_1^2 + k_2 l_2^2) + y(k_2 l_2 - k_1 l_1) = 0. \quad (5)$$

Структурная схема исходной системы (с учетом преобразования Лапласа [6]) в координатах y, ϕ в соответствии с (4), (5) может быть представлена, как показано на рисунке 2.

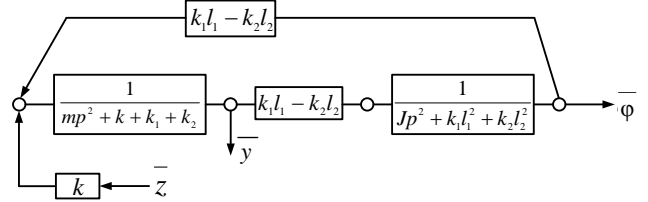


Рисунок 2 – Структурная схема исходной системы (см. рисунок 1) в координатах \bar{y} и $\bar{\phi}$

Структурная схема на рисунке 2 может быть преобразована, как показано на рисунке 3, и иметь несколько форм отображения.

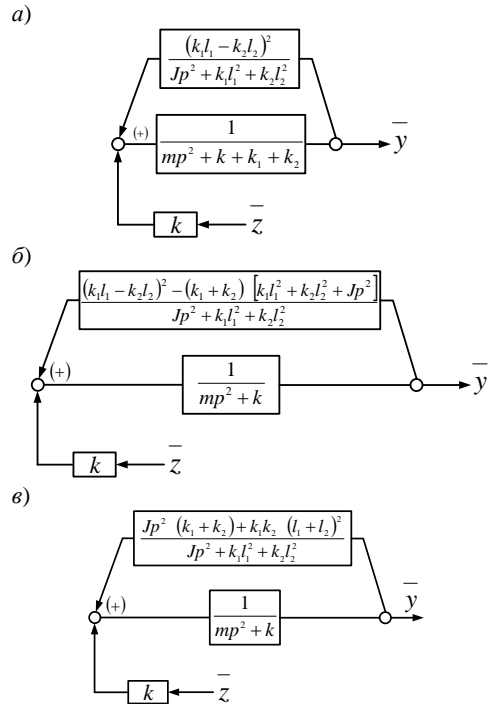


Рисунок 3 – Преобразование исходной структурной схемы: а – исключение координаты $\bar{\phi}$; б – приведение к частичной системе $mp^2 + k$ – положительная обратная связь; в – приведение системы к виду с отрицательной обратной связью

Передаточные функции системы могут быть найдены из структурных схем. Вместе с тем такие же результаты можно непосредственно получить из уравнений (4), (5) после преобразований Лапласа:

$$\bar{\phi} = \frac{(k_1 l_1 - k_2 l_2) \bar{y}}{J p^2 + k_1 l_1^2 + k_2 l_2^2}. \quad (6)$$

Используем (6) для исключения $\bar{\phi}$ и получим уравнение для схемы на рисунке 3, в:

$$\bar{y} \left[mp^2 + k + \frac{J p^2 (k_1 + k_2) + k_1 k_2 (l_1 + l_2)^2}{J p^2 + k_1 l_1^2 + k_2 l_2^2} \right] = k \bar{z}. \quad (7)$$

Если полагать, что парциальная система (по координате \bar{y}) имеет вид $mp^2 + k + k_1 + k_2$, а структурная схема соответствует рисунку 3, а, уравнение (7) запишется так:

$$\bar{y} \left[mp^2 + k + k_1 + k_2 - \frac{(k_2 l_2 - k_1 l_1)^2}{Jp^2 + k_1 l_1^2 + k_2 l_2^2} \right] = k \bar{z}. \quad (8)$$

Таким образом, исходная система (см. рисунок 1) может быть приведена путем исключения координаты вращательного движения $\bar{\varphi}$ к системе с одной степенью свободы, в которой массоинерционный элемент m совершает поступательное прямолинейное движение.

В приложении к задачам виброзащиты можно массоинерционный элемент m рассматривать как объект защиты. В этом случае в структуре виброзащитной системы образуется некоторое устройство для преобразования движения, имеющее вид рычага второго рода [4]. Такой рычаг обладает массоинерционными свойствами (имеет момент инерции J относительно точки O (см. рисунок 1). В данном случае исходная система может быть рассмотрена как система с одной степенью свободы. При этом, как показано на рисунке 4 в системе появляется дополнительный элемент, который отличается от известных типовых элементов (в данном случае пружин с жесткостями k, k_1, k_2).

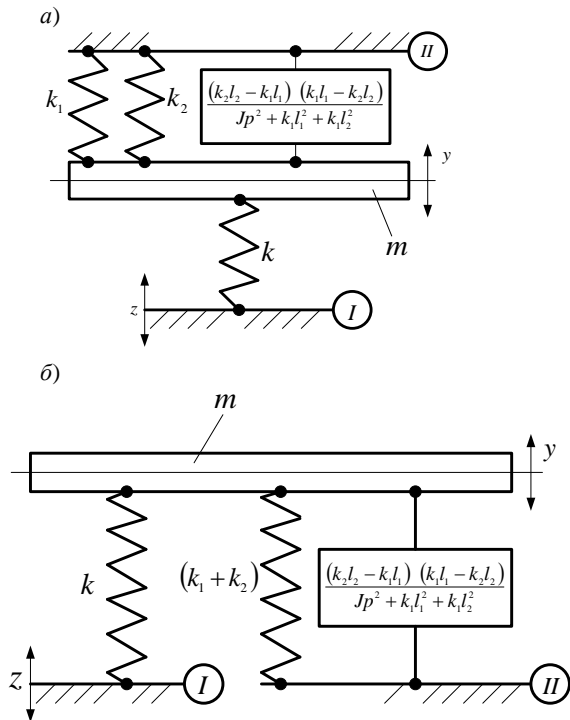


Рисунок 4 – Расчетная схема комбинированной системы, приведенная к системе, совершающей поступательное движение по координате y :

а – опорные поверхности разнесены по вертикали; б – опорные поверхности I и II разделены: возмущение z – по опорной поверхности I

Расчетная схема на рисунке 4 предполагает использование опорных поверхностей I и II. Вводимое в схему на рисунке 4 устройство для преобразования движения характеризуется приведенной динамической жесткостью, которая записана с использованием комплексной переменной p ($p = j\omega$ [6]). При $p = 0$, т. е. при отсутствии динамического возмущения со стороны основания ($z = 0$), динамическая жесткость устройства для

преобразования движения трансформируется в жесткость сложной пружины, имеющей в своем составе рычаг второго рода. Из анализа расчетной схемы на рисунке 4 следует также, что исходная система (см. рисунок 1) преобразуется в эквивалентную в динамическом отношении систему, но с другим набором составных элементов. Координата φ исключается, но взаимодействия, привносимые угловым движением по координате φ , остаются и отражаются квазипружиной (или компактом), имеющей приведенную жесткость

$$k_{\text{пр}} = \frac{(k_2 l_2 - k_1 l_1) \cdot (k_1 l_1 - k_2 l_2)}{Jp^2 + k_1 l_1^2 + k_2 l_2^2}. \quad (9)$$

Квазипружина обладает тем свойством, что при определенных соотношениях параметров приведенная жесткость может стать отрицательной. В физическом смысле это означает смену изменения направления упругой силы, развиваемой квазипружиной. Такой же эффект может быть получен при изменении частоты внешнего воздействия, так как знаменатель (9) определяется выражением

$$A_0' = -J\omega^2 + k_1 l_1^2 + k_2 l_2^2, \quad (9')$$

которое при увеличении p ($p = j\omega$) также приобретает отрицательное значение.

Отметим, что в структурных преобразованиях квазипружина ведет себя как обыкновенный упругий элемент. Ряд вопросов, связанных с упомянутыми особенностями, рассмотрен в работах [14, 15].

II Особенности преобразования систем. Из расчетной схемы на рисунке 4 можно определить ряд характеристик. Если между парциальными системами исходной системы на рисунке 1 связность определяется звеном с передаточной функцией $W'(p) = k_1 l_1 - k_2 l_2$, то взаимодействие между парциальными системами в координатах \bar{y} , $\bar{\varphi}$ становится нулевой при выполнении условия $k_1 l_1 = k_2 l_2$. В этом случае при внешнем возмущении z система будет совершать движение как объект массой m , имея одну степень свободы. Парциальная частота системы совпадает с частотой собственных колебаний приведенной системы:

$$\omega_1^2 = \frac{k + k_1 + k_2}{m}. \quad (10)$$

II.1 Если выполняется условие $k_1 l_1 \neq k_2 l_2$, то интерес представляет случай, когда $J = 0$. При этом приведенная жесткость системы, формируемая с участием парциальной системы углового движения, определится выражением

$$k_{\text{пр}} = k + k_1 + k_2 - \frac{(k_2 l_2 - k_1 l_1)^2}{k_1 l_1^2 + k_2 l_2^2} \quad (11)$$

или

$$k_{\text{пр}} = \frac{k(k_1 l_1^2 + k_2 l_2^2) + k_1 k_2 (l_1 + l_2)^2}{k_1 l_1^2 + k_2 l_2^2}. \quad (11')$$

При $J = 0$ в системе может быть обозначено появление рычажного механизма второго рода, который не только формирует для объекта массой m приведенную жесткость, но и создает вполне определенную структуру связей в пространстве (в геометрическом смысле). Приведенная схема системы (см. рисунок 4) в этом слу-

чае может интерпретироваться (рисунок 5) как свойство квазипружины:

$$k'_{\text{пр}} = \frac{k_1 k_2 (l_1 + l_2)^2}{k_1 l_1^2 + k_2 l_2^2}. \quad (12)$$

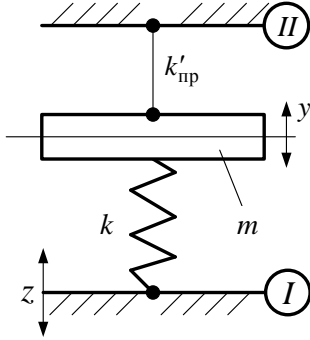


Рисунок 5 – Приведенная исходная расчетная схема при $J = 0$

Используем понятие передаточного отношения рычага: $i = l_2/l_1$. Знак передаточного отношения, то есть особенности рычажного механизма, учтен при выводе уравнений движения (в общем случае передаточное отношение рычага второго рода имеет знак минус).

Таким образом, выражение (12) преобразуется к виду

$$k'_{\text{пр}} = \frac{k_1 k_2 (1+i)^2}{k_1 + k_2 i^2}. \quad (13)$$

Если $i = 0$, то $k'_{\text{пр}} = k_2$. При $i = \infty$ $k'_{\text{пр}} = k_1$, что совпадает с физическими представлениями о свойствах механической системы с рычажными связями.

II.2 Рычаг второго рода с неподвижной точкой вращения (т. O) создает пространственную структуру расположения элементов механической колебательной системы. Если рычаг имеет нулевые массоинерционные характеристики, то дополнительно к основной пружине с жесткостью k он создает параллельную упругую связь, определяемую выражением (13). Связь представляет собой упругое соединение объекта массой m с опорной поверхностью II. В этом случае частота собственных колебаний определится таким же образом, как в системе с одной степенью свободы:

$$\omega^2 = \frac{k_2 + k'_{\text{пр}}}{m}. \quad (14)$$

$$\omega^2 = \frac{k_1 k_2 (1+i)^2 + k_2 (k_1 + k_2 i^2)}{(k_1 + k_2 i^2) m}. \quad (14')$$

Отметим, что передаточное отношение i может выступать в качестве настроечного параметра при решении различных задач, связанных с оценкой и контролем динамического состояния механических колебательных систем, в частности, виброзащитных [6, 8].

II.3 Если $J \neq 0$, т. е. вращательное звено обладает достаточно значимым моментом инерции, то приведенная жесткость квазипружины в отличие от выражения (13), будет зависеть от p . В этом случае приведенная жесткость квазипружины может быть названа динамической:

$$k''_{\text{пр}} = \frac{(k + k_1 + k_2)(Jp^2 + k_1 l_1^2 + k_2 l_2^2) - (k_1 l_1 - k_2 l_2)^2}{Jp^2 + k_1 l_1^2 + k_2 l_2^2}, \quad (15)$$

$$k''_{\text{пр}} = \frac{\left[Jp^2(k + k_1 + k_2) + k(k_1 l_1^2 + k_2 l_2^2 + k_1 + k_2) \times \right. \\ \left. \times (k_1 l_1^2 + k_2 l_2^2 - (k_1 l_1 - k_2 l_2)^2) \right]}{Jp^2 + k_1 l_1^2 + k_2 l_2^2}. \quad (15')$$

Выражение (15') дает представление о сложном характере связей, формирующихся при массивном рычаге в структуре объекта виброзащитной системы в том случае, когда объект совершает поступательное (прямолинейное) движение. Выражение (15') можно также представить в виде

$$k_{\text{пр}} = k + k_1 + k_2 - \frac{(k_2 l_2 - k_1 l_1)^2}{k_1 l_1^2 + k_2 l_2^2}. \quad (16)$$

II.4 С учетом $J \neq 0$ исходная система становится системой с двумя степенями свободы, в которой парциальные системы имеют различные движения: одна система (координата y) реализует поступательный вид движения, другая (с координатой φ) – угловое движение. Собственные частоты системы могут быть определены из характеристического частотного уравнения:

$$Jmp^4 + p^2 \left[J(k + k_1 + k_2) + m(k_1 l_1^2 + k_2 l_2^2) + \right. \\ \left. + (k + k_1 + k_2)(k_1 l_1^2 + k_2 l_2^2) \right] - \\ - (k_1 l_1 - k_2 l_2)^2 = 0, \quad (17)$$

для которых могут быть записаны выражения:

$$\omega_{1,2}^2 = \frac{J(k + k_1 + k_2) + m(k_1 l_1^2 + k_2 l_2^2) \pm \\ \pm \sqrt{\left[J(k + k_1 + k_2) - m(k_1 l_1^2 + k_2 l_2^2) \right]^2 + \\ + 4Jm(k_1 l_1 - k_2 l_2)^2}}{2Jm}. \quad (18)$$

Парциальные частоты в этом случае

$$n_1^2 = \frac{k + k_1 + k_2}{m}; \quad (19) \quad n_2^2 = \frac{k_1 l_1^2 + k_2 l_2^2}{J}. \quad (20)$$

В свою очередь

$$\omega_1^2 = \frac{n_1^2 + n_2^2}{2} - D; \quad (21) \quad \omega_2^2 = \frac{n_1^2 + n_2^2}{2} + D, \quad (22)$$

где

$$D = \frac{1}{2Jm} \sqrt{\left[J(k + k_1 + k_2) - m(k_1 l_1^2 + k_2 l_2^2) \right]^2 + \\ + 4Jm(k_1 l_1 - k_2 l_2)^2}. \quad (23)$$

Таким образом, механическая колебательная система (см. рисунок 1), имеющая две парциальные системы, состояние которых определяется координатами y и φ , может быть преобразована и приведена к более простой системе, характеризуемой координатой поступательного движения y . При этом «упрощении» в структуре системы становится необходимым введение элемента нового типа, который может быть назван квазипружиной и иметь соответствующую приведенную жесткость. В общем случае приведенная жесткость зависит от частоты внешнего воздействия и может быть названа динамической. В работах [12–18] квазипружина упомянутого вида получила название обобщенной пружины. Оба названия отражают одну и ту же физическую сущность, но их понятийные поля могут рассматриваться в различных контекстах и использоваться по-разному. Важным обстоятельством является то, что при $J = 0$ в системе с одной степенью свободы становится возмож-

ным обосновать появление рычажных связей. Они реализуются, в данном случае, рычажным механизмом второго рода. Такие связи в механических колебательных системах приносят новые свойства.

III Исключение координаты y . Используем структурную схему на рисунке 2 и систему уравнений движения:

$$mp^2 \bar{y} + \bar{y}(k + k_1 + k_2) + \bar{\varphi}(k_2 l_2 - k_1 l_1) = k \bar{z}; \quad (24)$$

$$Jp^2 \bar{\varphi} + \bar{\varphi}(k_1 l_1^2 + k_2 l_2^2) + \bar{y}(k_2 l_2 - k_1 l_1) = 0. \quad (25)$$

Из (24) следует, что

$$\bar{y} = \frac{k \bar{z} + \bar{\varphi}(k_2 l_2 - k_1 l_1)}{mp^2 + k + k_1 + k_2}. \quad (26)$$

После подстановки (26) в (25) получим

$$\begin{aligned} \bar{\varphi}(Jp^2 + k_1 l_1^2 + k_2 l_2^2) - \bar{\varphi} \frac{(k_1 l_1 - k_2 l_2)^2}{mp^2 + k + k_1 + k_2} = \\ = \frac{k(k_1 l_1 - k_2 l_2) \bar{z}}{mp^2 + k + k_1 + k_2}. \end{aligned} \quad (27)$$

На рисунке 6, б приведена структурная схема исходной системы (см. рисунок 1) при исключении координаты \bar{y} ; на рисунке 6, а приведена соответствующая расчетная схема в символической форме – как механической системе с одной степенью свободы, определяемой координатой $\bar{\varphi}$.

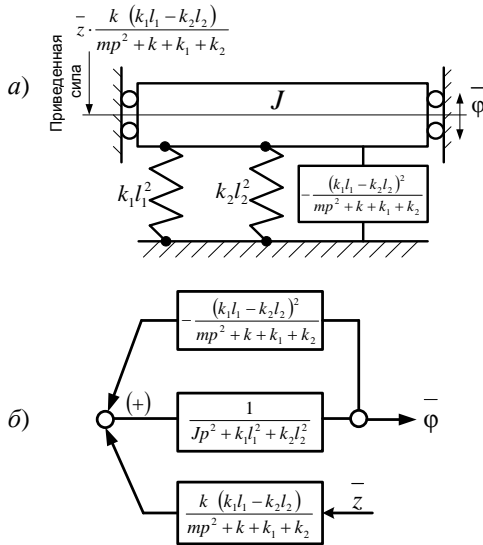


Рисунок 6 – Структурная (а) и расчетная (б) схемы при исключении координаты y

Если рассмотреть расчетную схему частичной системы с соответствующим вращательным движением, то она принимает вид, как показано на рисунке 7.

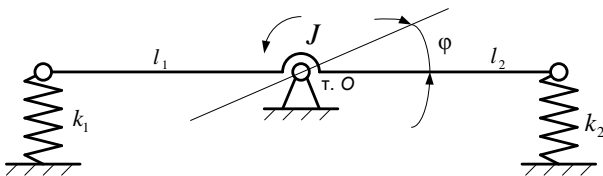


Рисунок 7 – Расчетная схема частичной системы вращательного движения

Используя схему на рисунке 7, можно найти частичную частоту:

$$n_2^2 = \frac{k_1 l_1^2 + k_2 l_2^2}{J}. \quad (28)$$

Это будут угловые колебания. Возвращаясь к расчетной схеме на рисунке 6, а, найдем, что приведенная жесткость квазипружины определяется формулой

$$k''_{пр} = \frac{l_1^2 (k_1 - k_2 i)^2}{mp^2 + k + k_1 + k_2}. \quad (29)$$

Выражение (29) соответствует крутильной динамической жесткости во вращательном движении с координатой φ . Если исходную систему (рисунок 1) привести к системе с одной степенью свободы (что можно сделать при исключении координаты y), то выражение (29) можно представить в детализированном, полагая, что

$$(k_2 l_2 - k_1 l_1)^2 = (k_2 l_2)^2 - 2k_1 k_2 l_1 l_2 + (k_1 l_1)^2. \quad (29')$$

Для того чтобы войти в формат расчетной схемы, отражающей особенности движения твердого тела относительно точки O , вернемся к уравнению (27). Сделаем ряд преобразований над (27):

$$\begin{aligned} Jp^2 \bar{\varphi} + \frac{A_1 k_1 l_1^2 + A_1 k_2 l_2^2 - k_1^2 l_1^2 + 2k_1 k_2 l_1 l_2 - k_2 l_2^2}{A_1} = \\ = \frac{k(k_1 l_1 - k_2 l_2) \bar{z}}{A_1}. \end{aligned} \quad (29'')$$

Тогда (29'') можно записать следующим образом:

$$\begin{aligned} Jp^2 + \frac{k_1 l_1^2 (mp^2 + k + k_2)}{A_1} + \frac{k_2 l_2^2 (mp^2 + k + k_1)}{A_1} + \\ + \frac{k_1 k_2 l_1^2 i}{A_1} + \frac{k_1 k_2 l_2^2}{i A_1} = \frac{k(k_1 l_1 - k_2 l_2)^2}{A_1}. \end{aligned} \quad (29''')$$

В этом случае расчетная схема (см. рисунок 1) при исключении переменной \bar{y} примет вид, как показано на рисунке 8.

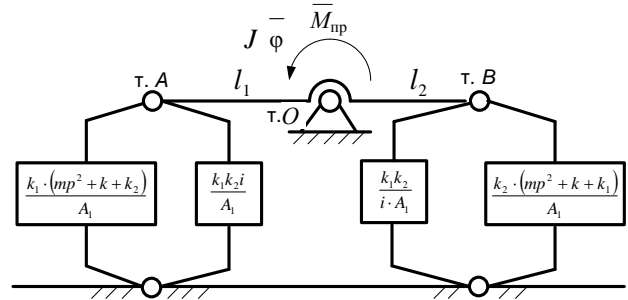


Рисунок 8 – Расчетная схема эквивалентной системы с одной степенью свободы с объектом, состояние которого описывается координатой φ ($A_1 = mp^2 + k + k_1 + k_2$)

Отметим, что на рисунке 8 принятые обозначения тт. A и B локализуют условия присоединения типовых элементов и квазипружин к объекту, совершающему угловое колебательное движение по координате $\bar{\varphi}$. Приведенный момент сил, прикладываемый к объекту с моментом инерции J , формируется кинематическим возмущением \bar{z} :

$$\bar{M}_{пр} = \frac{k(k_1 l_1 - k_2 l_2)}{mp^2 + k + k_1 + k_2} \bar{z}. \quad (30)$$

Что касается элементов структуры на рисунке 8 с использованием A_1 , то они являются квазипружинами, жесткости которых во вращательном движении составляют:

$$k_{\text{пр}1} = -\frac{k_1^2 l_1}{mp^2 + k + k_1 + k_2}; \quad (31) \quad k_{\text{пр}2} = -\frac{k_2^2 l_2}{A_1}; \quad (32)$$

$$k_{\text{пр}3} = \frac{k_1 k_2 l_1}{A_1}; \quad (33) \quad k_{\text{пр}4} = \frac{k_1 k_2 l_2}{A_1}. \quad (34)$$

Таким образом, комбинированная система (см. рисунок 1) приводится к рычажному механизму, в котором рычаг обладает моментом инерции J . При этом кинематическое возмущение \bar{z} преобразуется к приведенному моменту сил (см. рисунок 8). Если принять, что $m = 0$, то

$$k_{\text{пр}1} = -\frac{k_1^2 l_1}{k + k_1 + k_2}; \quad k_{\text{пр}2} = -\frac{k_2^2 l_2}{k + k_1 + k_2}; \quad (35)$$

$$k_{\text{пр}3} = \frac{k_1 k_2 l_1}{k + k_1 + k_2}; \quad k_{\text{пр}4} = \frac{k_1 k_2 l_2}{k + k_1 + k_2},$$

что позволяет привести упругие элементы к точкам A и B . Это дает следующие результаты:

$$k_{\text{пр}A} = \frac{kk_1 + k_1 k_2 (1+i)}{k + k_1 + k_2}; \quad (36)$$

$$k_{\text{пр}B} = \frac{kk_2 i + k_1 k_2 (1+i)}{k + k_1 + k_2}. \quad (37)$$

Таким образом, рассмотрение особенностей формирования рычажных связей показывает, что динамические свойства механических колебательных систем существенно зависят от особенностей парциальных систем, составляющих основу системы. Если парциальные системы неоднородны, то есть могут совершать и поступательные и вращательные движения, то большое значение приобретают рычажные связи. Отметим, что рычажные связи в колебательных системах могут принимать различные формы и зависят от выбора обобщенных координат.

IV Свойства системы с рычажными связями первого рода. Расчетная схема с двумя степенями свободы состоит из двух твердых тел и упругих связей. Твердое тело может двигаться поступательно, а второе – совершать угловые движения вокруг неподвижной точки, как показано на рисунке 9.

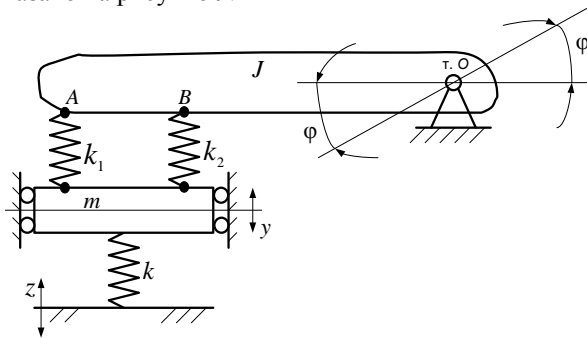


Рисунок 9 – Расчетная схема системы с двумя твердыми телами, совершающими вращательно-качательное (ϕ) и поступательное (y) движения

Твердые тела совершают малые движения. Принимается, что $OA = l_1$, $OB = l_2$; $i = l_2/l_1$ – передаточное отношение рычажных связей. Запишем выражения для кинетической и потенциальной энергий:

$$T = \frac{1}{2} m (\dot{y})^2 + \frac{1}{2} J (\dot{\phi})^2, \quad (38)$$

$$U = \frac{1}{2} k (y - z)^2 + \frac{1}{2} k_1 (\phi l_1 - y)^2 + \frac{1}{2} k_2 (\phi l_2 - y)^2, \quad (39)$$

и получим уравнения движения по координатам y и ϕ :

$$m \ddot{y} + y(k + k_1 + k_2) - \phi(k_1 l_1 + k_2 l_2) = kz; \quad (40)$$

$$J \ddot{\phi} + \phi(k_1 l_1^2 + k_2 l_2^2) - y(k_1 l_1 + k_2 l_2) = 0. \quad (41)$$

Из (41) найдем, что

$$\bar{\phi} = \frac{(k_1 l_1 + k_2 l_2) \bar{y}}{J p^2 + k_1 l_1^2 + k_2 l_2^2}. \quad (42)$$

Подставив (42) в (40) (в изображениях по Лапласу) при исключении координаты $\bar{\phi}$, получим:

$$\bar{y} \left(mp^2 + k + k_1 + k_2 - \frac{(k_1 l_1 + k_2 l_2)^2}{J p^2 + k_1 l_1^2 + k_2 l_2^2} \right) = k \bar{z}. \quad (43)$$

Структурная схема системы (см. рисунок 9) с её формулами преобразования приведена на рисунке 10. При этом схема на рисунке 10, a соответствует двум степеням свободы движения, а на рисунке 10, b – схема преобразована и координата $\bar{\phi}$ исключена.

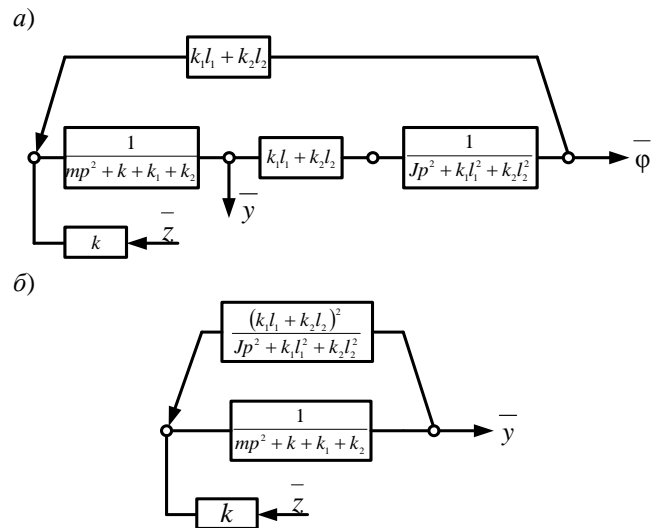


Рисунок 10 – Структурная схема (a), соответствующая системе на рисунке 8; b – структурная схема с исключением координаты ϕ

Система опирается на основание, закон движения которого известен [$z(t)$ – гармоническое колебание]. Внешнее воздействие представляет собой движение основания пружины с жесткостью k , определяемое через z . Так же, как и в исходной системе на рисунке 1, можно выделить появление квазипружины с приведенной жесткостью:

$$k_{\text{пр}}'' = \frac{(k_1 l_1 + k_2 l_2)^2}{J p^2 + k_1 l_1^2 + k_2 l_2^2}. \quad (44)$$

Выражение (44) отличается от аналогичного выражения (9) тем, что в числителе стоит $(k_1 l_1 + k_2 l_2)$, а не $(k_1 l_1 - k_2 l_2)$, что соответствует изменению вида рычажной связи.

Преобразуем (44), вводя передаточное отношение $i = l_2/l_1$, и получим:

$$k_{\text{пр}} = \frac{(k_1 + k_2 i)^2}{\frac{J}{l_1^2} p^2 + k_1 + k_2 i^2}. \quad (45)$$

На рисунке 11 приведена расчетная схема в виде системы с одной степенью свободы и объектом защиты m (координата \bar{y}).

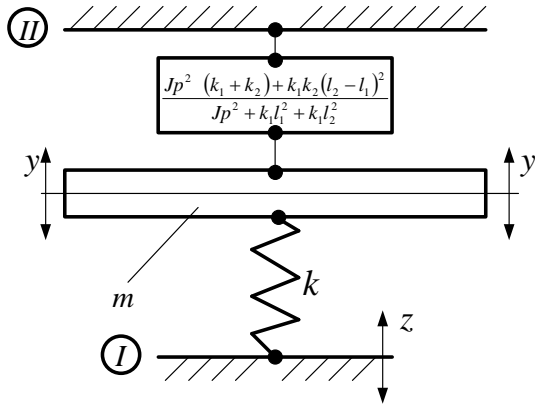


Рисунок 11 – Расчетная схема системы с рычажной связью первого рода

Если принять, что $J = 0$, то

$$k_{\text{нр}}'' = \frac{k_1 k_2 (l_2 - l_1)^2}{k_1 l_1^2 + k_2 l_2^2} = \frac{k_1 k_2 (i - 1)^2}{k_1 + k_2 i^2}. \quad (46)$$

Если сравнивать расчетную схему на рисунке 4, а с аналогичной схемой с рычажной связью первого рода, то расчетная схема имеет вид, как показано на рисунке 12.

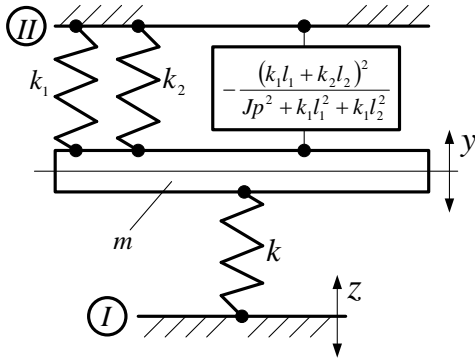


Рисунок 12 – Расчетная схема системы с рычажным звеном первого рода

Введение рычажных связей (через твердое тело с моментом инерции J) другого типа изменяет значения приведенных жесткостей квазипружин. В связи с этим будут изменяться и свойства механической колебательной системы в целом. Что касается рассматриваемого на рисунке 12 случая, то в нем предполагается постановка задачи вибрационной защиты, где объектом защиты выступает массоинерционный элемент структуры (m), тогда как рычажная связь используется для настроечных целей.

V Исключение координаты y в системе с рычажными связями первого рода. При исключении координаты \bar{y} воспользуемся уравнениями (40), (41) и для системы, приведенной на рисунке 9, получим

$$\bar{y} = \frac{k\bar{z} + \varphi(k_1 l_1 + k_2 l_2)}{mp^2 + k + k_1 + k_2}. \quad (47)$$

Подставляя (47) в (41), запишем:

$$\begin{aligned} & \bar{\varphi} \left(Jp^2 + k_1 l_1^2 + k_2 l_2^2 \right) - \frac{(k_1 l_1 + k_2 l_2) k \bar{z}}{mp^2 + k + k_1 + k_2} - \\ & - \frac{(k_1 l_1 + k_2 l_2)^2}{mp^2 + k + k_1 + k_2} \bar{\varphi} = 0. \end{aligned} \quad (48)$$

После преобразований уравнение (48) можно записать в виде

$$\begin{aligned} & \bar{\varphi} \left(Jp^2 + k_1 l_1^2 + k_2 l_2^2 - \frac{(k_1 l_1 + k_2 l_2)^2}{mp^2 + k + k_1 + k_2} \right) = \\ & = \frac{(k_1 l_1 + k_2 l_2) k \bar{z}}{mp^2 + k + k_1 + k_2}. \end{aligned} \quad (49)$$

Расчетная схема исходной системы (см. рисунок 9), для которой значения \bar{y} было исключено путем преобразований, представлена на рисунке 13 как система с одной степенью свободы и объектом, имеющим момент инерции J относительно точки вращения.

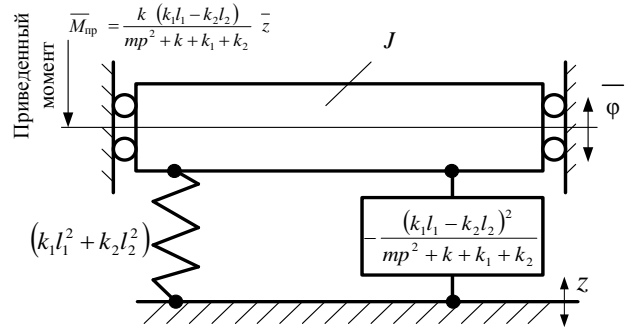


Рисунок 13 – Принципиальная схема системы с одной степенью свободы (φ) при исключении координаты y

На объект действует приведенный момент сил, возбуждаемых вибрациями основания. Изображение по Лапласу такого приведенного момента возмущающих сил представлено правой частью уравнения (49):

$$\bar{M}_{\text{нр}} = \frac{k(k_1 l_1 - k_2 l_2)}{mp^2 + k + k_1 + k_2} \bar{z}. \quad (50)$$

Структурная схема системы (рисунок 13) имеет вид, как показано на рисунке 14.

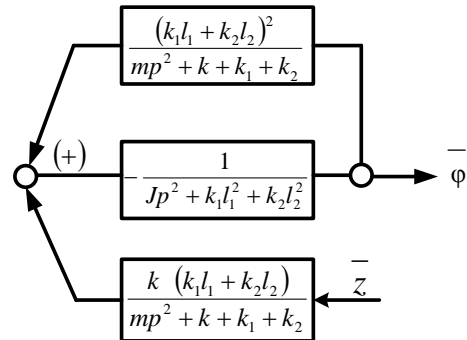


Рисунок 14 – Структурная схема системы на рисунке 8 с исключенной координатой \bar{y}

Обратная связь на рисунке 14 в физическом смысле интерпретируется как квазипружина, обладающая динамической жесткостью:

$$k_{\text{нр}}''' = \frac{(k_1 l_1 + k_2 l_2)^2}{mp^2 + k + k_1 + k_2}. \quad (51)$$

Это выражение можно сравнить с аналогичным параметром, определяемым из рисунка 6, б, где динамическая жесткость определяется выражением вида (51), но в числителе стоит не сумма, а разность параметров $(k_1 l_1 - k_2 l_2)^2$. Такое отличие привносит учет типа рычажной связи (в данном случае – это рычаг второго рода). На рисунке 13 координата $\bar{\varphi}$ в преобразованной расчетной схеме отображает вращательные движения и возникающие при этом взаимодействия элементов так, как это происходит в системе, совершающей поступательное движение. В схеме задействована квазипружина, динамическая жесткость которой отражает наличие рычажных связей, определяющих пространственные форматы движения.

Если сохранить физические особенности вращательного движения, принимая во внимание наличие рычажных связей первого рода, то расчетная схема примет вид, как показано на рисунке 15.

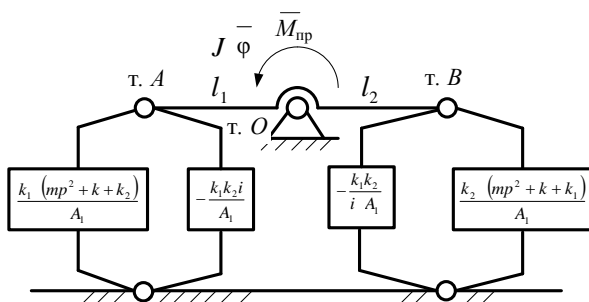


Рисунок 15 – Расчетная схема для объекта защиты, совершающего возвратно-качательные движения при исключении координаты \bar{y} ($AO = l_1$, $BO = l_2$, $A_1 = mp^2 + k + k_1 + k_2$)

В этом случае также нужны предварительные преобразования, как это было показано на примере для выражений (29'–29'''). Учитывая то обстоятельство, что расчетная схема отражает возможности вращательного движения, в котором для каждой точки могут быть определены локальные параметры движения, приведенные жесткости квазипружин также будут локализованы по отношению точек, выбранных для наблюдения за динамическим состоянием или для соответствующих расчетов.

Заключение. Приведенные материалы свидетельствуют о том, что между вращательными и поступательными движениями при реализации структурных подходов выявляется адекватность представлений о правилах преобразований. Рычажные связи появляются в результате абстрагирования от некоторых особенностей вращательного движения. Они характеризуются тем, что взаимодействия между типовыми элементами в системе разнесены в пространстве.

Показано, что разделение рычажных связей вполне объяснимо, если принять во внимание характер локализации мест закрепления связей относительно неподвижной точки рычага. Если связи многочисленны и располагаются с разных сторон точки вращения рычага, то структура передаточных отношений должна корректироваться в связи с выбором точек крепления элементов по отношению к точке вращения рычага.

В данной работе парциальные системы выбраны таким образом, что вращательное и поступательное дви-

жения физически разделены, и в качестве межпарциальных связей выступают упругие элементы k_1 и k_2 . Однако существуют системы, в которых твердое тело объединяет отдельные виды движений в одно (это плоское движение). В этом случае парциальные связи будут носить другой характер (часто их называют инерционными [6, 9]). Хотя и такие системы также могут быть приведены к эквивалентному виду цепной системы, что, в частности, рассматривалось в работах [16–18].

Работа выполнена при поддержке Федеральной целевой программы «Научные и педагогические кадры инновационной России (2012–2013)» по теме «Мехатроника виброзащитных колебательных систем» (№ 14.132, 21.1362).

Список литературы

- 1 Тимошенко, С. П. Колебания в инженерном деле : пер. с англ. / С. П. Тимошенко, Д. Х. Янг, У. Уивер ; под ред. Л. Г. Корнейчука, Э. И. Григolloка. – М. : Машиностроение, 1985. – 473 с. [S. Timoshenko, D. H. Young, W. Weaver, JR. Vibration problems in engineering. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore : John Wiley & Sons, 1974].
- 2 Зоммерфельд, А. Механика : пер. с нем. / А. Зоммерфельд ; под ред. Д. В. Сивухина. – М. : Гос. изд-во иностранной лит., 1947. – 392 с. [Mechanik von Arnold Sommerfeld. Zweite, revidierte Auflage. Leipzig : 1944].
- 3 Рабинович, М. И. Введение в теорию колебаний и волн [Текст] / М. И. Рабинович, Д. И. Трубецков. – М. : Наука, 1992. – 455 с.
- 4 Мандельштам, Л. И. Лекции по теории колебаний [Текст] / Л. И. Мандельштам. – М. : Наука, 1972. – 360 с.
- 5 Дж. Николис. Динамика иерархических систем. Эволюционное представление : пер. с англ. Ю. А. Данилова / Дж. Николис. – М. : Мир, 1989. – 488 с. [J. S. Nicolis. Dynamics of Hierarchical Systems. An Evolutionary Approach. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo : Springer-Verlag, 1986].
- 6 Елисеев, С. В. Мехатронные подходы в динамике механических колебательных систем [Текст] / С. В. Елисеев, Ю. Н. Резник, А. П. Хоменко. – Новосибирск : Наука, 2011. – 394 с.
- 7 Хоменко, А. П. Системный анализ и математическое моделирование в мехатронике виброзащитных систем [Текст] / А. П. Хоменко, С. В. Елисеев, Ю. В. Ермошенко. – Иркутск : ИрГУПС, 2012. – 288 с.
- 8 Белокобыльский, С. В. Прикладные задачи структурной теории виброзащитных систем [Текст] / С. В. Белокобыльский, С. В. Елисеев, В. Б. Кашуба. – СПб. : Политехника, 2013. – 364 с.
- 9 Белокобыльский, С. В. Динамика механических систем. Рычажные и инерционно-упругие связи [Текст] / С. В. Белокобыльский, С. В. Елисеев, И. С. Ситов. – СПб. : Политехника, 2013. – 319 с.
- 10 Wiercigroch, M. Modeling of dynamical systems with motion dependent discontinuities / M. Wiercigroch // Chaos, solitons and Fractals. – 2000. – № 11. – P. 2429–2442.
- 11 Современные тенденции развития научных исследований по проблемам машиноведения и машиностроения [Текст] / Н. А. Махутов [и др.] // Проблемы машиностроения и автоматизации. – М. : Федеральное гос. бюджетное учреждение «Рос. науч.-исслед. ин-т информационных технологий и систем автоматизированного проектирования». – 2008. – № 3. – С. 3–19.
- 12 Елисеев, С. В. Особенности построения компактов упругих элементов в механических колебательных системах. Взаимодействия с элементами систем и формы соединения [Текст] / С. В. Елисеев, С. В. Ковыршин, Р. С. Большаков //

Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – Иркутск : ИРГУПС, 2012. – № 4 (36). – С. 61–70.

13 **Елисеев, С. В.** Некоторые вопросы динамики взаимодействия в механических колебательных системах с рычажными связями [Текст] / С. В. Елисеев, А. И. Артюнин, Р. С. Большаков // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. – Муром : Муромский ин-т ГОУ ВПО «Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых». – 2012. – № 4 (14). – С. 36–45.

14 Упругие элементы в механических системах. Структурные интерпретации / А. П. Хоменко [и др.] ; Ирк. гос. ун-т путей сообщ. – Иркутск, 2013. – 460 с. – Библ. : 200 назв. – Рус. – Деп. в ВИНТИ 02.08.2013 № 230 – В 2013.

15 Механизмы в упругих колебательных системах: особенности учета динамических свойств, задачи вибрационной защиты машин, приборов и оборудования / А. П. Хоменко

[и др.] ; Ирк. гос. ун-т путей сообщ. – Иркутск, 2013. – 187 с. – Деп. в ВИНТИ 15.08.2013 № 243 – В 2013.

16 Динамические взаимодействия элементов машин: расчетные схемы и математические модели вибрационных состояний / С. В. Елисеев [и др.] ; Ирк. гос. ун-т путей сообщ. – Иркутск, 2013. – 319 с. – Деп. в ВИНТИ 08.11.2013 № 313 – В 2013.

17 **Елисеев, С. В.** Рычажные связи в динамических взаимодействиях механических колебательных систем с двумя степенями свободы [Текст] / С. В. Елисеев, Ю. В. Ермошенко, Р. С. Большаков // Известия Юго-Западного государственного университета. – Курск : ЮЗГУ. – 2012. – № 1–2. – С. 6–12.

18 **Елисеев, С. В.** Рычажные связи в структурных интерпретациях механических колебательных систем / С. В. Елисеев, Р. С. Большаков // Международная научно-практическая конференция «Транспорт-2013». Ч. III. – Ростов н/Д : Изд-во D&V, 2013. – С. 247–250.

Получено 19.11.2014

S. V. Eliseev, E. V. Kaimov, N. Zh. Kinash. Reducibility, partial of systems and their ties to the equivalent forms: genesis of lever ties.

Tasks of interaction of typical elements in vibroprotective systems which have rigid body immovable point of rotation are considered. The rigid body has spring ties with elements of system through lever contacts. Methodological basis of creature of mathematical models in forms of structural schemes of adequate systems with feed-back control are discussed. The approaches for getting adequate accounting schemes for oscillation systems are offered.

Various options of emergence in systems of lever ties are considered. New definitions for creation of blocks from elastic and mass elements and lever gears, so-called quasi-springs are offered. Analytical ratios for the description of features of systems and interaction of their elements are received.

The method of creation of equivalent settlement schemes for the systems having some partial structures of various physical natures is offered.

УДК 629.472.3

О. С. АНАНЬЕВА, старший преподаватель, В. Н. ПОДОЛЬСКАЯ, аспирант, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЕ СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МЕТРОПОЛИТЕНА С НАКОПИТЕЛЯМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Представлена методика расчета переходных процессов, возникающих при совместной работе системы тягового электро-снабжения метрополитена и электрического подвижного состава с накопителями электрической энергии. Рассматриваются возможные варианты подключения аккумулирующей установки в тяговых сетях метрополитена для выбранного расчетного участка. Определено влияние места размещения на процессы заряда-разряда накопителей, размещенных в системе электро-снабжения метрополитена. Приведены результаты расчетов напряжений и токов заряда-разряда при различных местах расположения аккумулирующей установки и представлены выводы о том, что полученная методика может быть использована при расчете систем тягового электро-снабжения.

Городской электрический транспорт, в частности метрополитен, играет ключевую роль в перевозке пассажиров. В условиях увеличения спроса на перевозки, роста цен на энергоносители при сохранении высоких требований к качеству предоставляемых услуг приоритетной задачей становится повышение энергоэффективности данного вида транспорта. Одним из перспективных направлений в решении данной проблемы является использование энергоемких накопителей электрической энергии (НЭЭ). Использование НЭЭ в различных устройствах и системах городского электро-снабжения разнообразно и область их применения с каждым днем расширяется.

Большой вклад в развитие и применение НЭЭ в системах тягового электро-снабжения (СТЭ) внесли такие ученые, как Бродский Ю. А., Глебов И. А., Заруцкая Т. А., Клинов В. Ю., Подаруев А. И., Пупынин В. Н., Шевлюгин М. В. и многие другие. В своих работах они исследовали три основных вопроса: выбор оптимального типа накопителя энергии (НЭ), его массогабаритные и стоимостные показатели, а также выбор рационального места установки накопительных устройств.

На данный момент возможны следующие варианты размещения аккумулирующих устройств: тяговая подстанция (ТП); выводы питающих линий ТП; вдоль контактной сети на межподстанционной зоне; остановочные пункты на перегонах между ТП; тяговый электро-подвижной состав (ТЭПС). Выбор рационального места подключения НЭЭ главным образом зависит от технико-экономической эффективности и удобства при эксплуатации оборудования.

В работе [1] представлен анализ основных схемных решений по обоснованию рационального места расположения емкостных накопителей энергии в системе тягового электро-снабжения (СТЭ) метрополитена. Авторы делают предположение, что в результате размещения накопителя на шинах ТП снижается потребление СТЭ энергии из первичной питающей сети, сглаживаются пики нагрузки ТП, дополнительно уменьшаются потери в первичной питающей сети понижающего и преобразовательного трансформаторов. При размещении НЭЭ на остановочных пунктах общая установленная мощность аккумулирующей установки увеличивается, накопление и возврат энергии посредством реку-

перации поездов осуществляется в непосредственной близости к остановочным пунктам, практически минуя тяговую сеть (ТС), благодаря чему появляется дополнительная экономия – снижение потерь в ТС. В работе [2] авторы оценивают целесообразность и эффективность применения НЭЭ на постах секционирования железных дорог постоянного тока. В результате проведенных авторами исследований был сделан вывод о том, что применение НЭЭ позволяет увеличивать средний уровень напряжения на токоприемнике электроподвижного состава (ЭПС) и снижает эффективные токи ТП, что в свою очередь способствует увеличению пропускной и провозной способности участка железной дороги.

Опубликованные работы демонстрируют возможность применения НЭЭ непосредственно на ЭПС, что с экономической точки зрения является наиболее эффективным и перспективным способом экономии электрической энергии. Например, в работе [3] автор доказывает, что при размещении НЭЭ на ЭПС упрощается прием энергии рекуперации, часть пускового тока будет потребляться непосредственно из накопителя, что позволяет значительно снизить потери в ТС. Помимо этого появляется возможность аварийного вывода вагонов метрополитена из туннеля при полном или частичном снятии напряжения на ТП, а также при возникновении аварийных режимов в контактной сети.

В приведенных выше работах не описаны методики расчета процессов заряда-разряда НЭЭ, возникающие при совместной работе электрического подвижного состава (ЭПС) метрополитена и СТЭ.

Целью данной работы является разработка методики, которая позволит выполнять анализ процессов заряда-разряда НЭЭ при совместной работе СТЭ и ЭПС метрополитена в различных режимах.

Устройство СТЭ метрополитена весьма сложное, поэтому методика расчета будет показана на примере межподстанционной зоны однопутного участка. Возможные варианты подключения НЭЭ в ТС метрополитена для расчетного участка могут быть изображены одной электрической схемой замещения, представленной на рисунке 1. Данная схема содержит две тяговые подстанции (ТП1, ТП2), одну единицу подвижного состава и аккумулирующую установку на базе суперконденсаторных батарей.

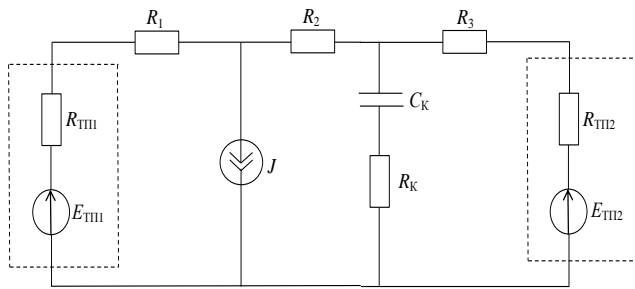


Рисунок 1 – Эквивалентная схема замещения совместной работы ЭПС и СТЭ с НЭЭ

На рисунке 1 $E_{ТП1}$, $E_{ТП2}$ – эквивалентные ЭДС первой и второй тяговых подстанций; $R_{ТП1}$, $R_{ТП2}$ – эквивалентное внутреннее сопротивление первой и второй тяговых подстанций; R_1 – сопротивление участка контактной сети от ТП₁ до места потребления тока подвижным составом, находящимся в режиме тяги; J – суммарный ток тяговых двигателей поезда метрополитена, находящегося в режиме тяги; R_2 – сопротивление участка цепи контактной сети от ТП₁ до места подключения НЭЭ к контактной сети; R_3 – сопротивление участка контактной сети от места подключения НЭЭ до ТП₂; R_K – внутреннее сопротивление НЭЭ; C_K – емкость аккумулирующей установки.

Данные для исследования были взяты из тяговых расчётов, проводимых сотрудниками кафедры «Локомотивы» Белорусского государственного университета транспорта (БелГУТ) для Минского метрополитена [4]. В качестве сведений для производства тяговых расчетов были приняты тяговые и скоростные характеристики вагонов моделей 81-717.5 и 81-714.5.

Ниже представлен ряд допущений для схемы замещения, представленной на рисунке 1:

1 Эквивалентное внутреннее сопротивление подстанции, Ом, определяется по выражению [5, с. 162]

$$R_{ТП} = \frac{U_{d0расч}}{I_{dном}} \left[A \left(\frac{U_K}{100n_{раб}} + \frac{S_{ном}}{S_K} \right) + \frac{\Delta P_M}{100} \right] + R_a + R_{01}, \quad (1)$$

где $U_{d0расч}$ – расчетное напряжение холостого хода преобразователей тяговой подстанции, В; $I_{dном}$ – номинальный ток преобразователя, А; A – коэффициент наклона внешней характеристики выпрямителя (для используемых на метрополитене схем звезда – две обратные звезды с уравнительным реактором и трехфазная мостовая); U_K – напряжение короткого замыкания, В; $n_{раб}$ – число работающих преобразователей на подстанции; $S_{ном}$ – мощность первичной обмотки преобразовательного трансформатора, кВ·А; S_K – мощность к.з. на шинах питающего напряжения тяговой подстанции, кВ·А; ΔP_M – активные потери в обмотках трансформатора при номинальном режиме (в процентах к номинальной мощности агрегата), Вт; R_a – активное сопротивление питающей системы, приведенное к стороне выпрямленного тока, Ом; R_{01} – сопротивление отсасывающей линии, Ом.

2 Сопротивление контактной сети, Ом, от ТП₁ до места потребления тока подвижным составом

$$R_1 = l_1 R_0, \quad (2)$$

где l_1 – путь, прошедший подвижной составом от ТП₁ под током за период Δt , км; R_0 – сопротивление контактной сети, Ом/км.

3 Сопротивление участка контактной сети, Ом, от ТП₁ до места подключения НЭЭ к контактной сети

$$R_2 = x R_0, \quad (3)$$

где x – длина участка контактной сети от ТП₁ до места подключения НЭЭ, км.

4 Сопротивление участка контактной сети, Ом, от места подключения НЭЭ до ТП₂

$$R_3 = R_0 (L - x), \quad (4)$$

где L – длина участка контактной сети от ТП₁ до ТП₂, км.

5 Ускорение и сила тяги электроподвижного состава при движении по заданному участку межподстанционной зоны примем постоянной:

$$a = \text{const}, F_T = \text{const}.$$

6 Суммарный ток тяговых двигателей, потребляемый подвижным составом метрополитена, находящимся в режиме тяги, изменяется в соответствии с проведенными тяговыми расчетами и является функцией времени

$$J_{ПС} = f(t).$$

Расчет проводился по параметрам накопительной установки типа 4·57·10ЭК303, основные характеристики которой приведены в таблице 1 [6].

Таблица 1 – Основные параметры НЭЭ

Тип системы	4·57·10ЭК303
Диапазон рабочих напряжений, В	900–450
Емкость, Ф	420
Полная запасаемая энергия, МДж	170
Запасаемая энергия в диапазоне рабочих напряжений, МДж	127
Внутреннее сопротивление, мОм	26
Масса аккумуляторного элемента, т	7,8
Эффективность в цикле заряда / разряда	Не менее 0,85

Для определения эффективности применения НЭЭ в тяговых сетях метрополитена рассмотрим процессы заряда-разряда. Эквивалентная схема замещения для исследования процесса заряда представлена на рисунке 2.

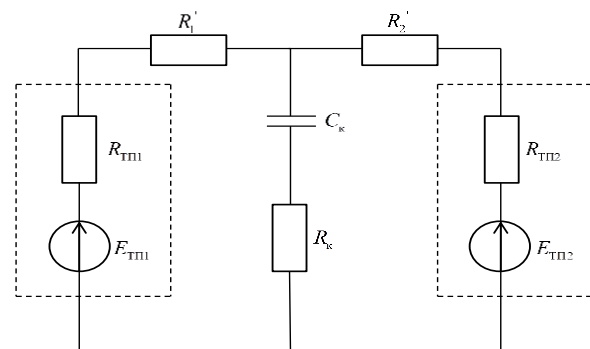


Рисунок 2 – Эквивалентная схема замещения совместной работы СТЭ с НЭЭ в процессе заряда

На рисунке 2 R'_1 – сопротивление участка цепи контактной сети от ТП₁ до места подключения НЭЭ; R'_2 – сопротивление участка контактной сети от места подключения НЭЭ до ТП₂.

При исследовании процесса заряда НЭЭ (см. рисунок 2) были приняты следующие допущения:

1 Все тяговые подстанции односторонние, имеют одинаковое внутреннее сопротивление и одинаковый уровень напряжения на шинах ТП.

2 Эквивалентные ЭДС первой и второй ТП соответственно будут равны

$$E_{ТП1} = E_{ТП2} = E_{ТП}. \quad (5)$$

3 Эквивалентные внутренние сопротивления первой и второй ТП также будут равны

$$R_{ТП1} = R_{ТП2} = R_{ТП}. \quad (6)$$

4 Сопротивление участка цепи контактной сети, Ом, от ТП₁ до места подключения НЭЭ

$$R'_1 = xR_0, \quad (7)$$

где x – длина участка контактной сети от ТП₁ до места подключения НЭЭ, км.

5 Сопротивление участка контактной сети, Ом, от места подключения НЭЭ до ТП₂

$$R'_2 = (L-x)R_0, \quad (8)$$

где L – длина участка контактной сети от ТП₁ до ТП₂, км.

6 Сопротивление контактной сети, Ом, определяем

$$R_{кв} = R_{кр} + R_{кп}, \quad (9)$$

где $R_{кр}$ – сопротивление контактного рельса; $R_{кп}$ – сопротивление контактного провода.

Следующий этап исследования заключается в определении токов и напряжений, возникающих в процессе заряда аккумуляторной установки. После простых преобразований эквивалентной схемы замещения, изображенной на рисунке 2, получим эквивалентную схему, представленную на рисунке 3.

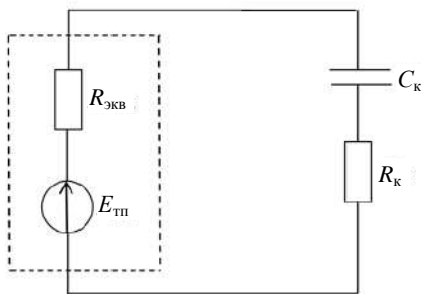


Рисунок 3 – Эквивалентная схема замещения заряда НЭЭ

Тогда напряжение заряда, В,

$$U_C = E \left(1 - e^{-t/C(R_к + R_{экв})} \right). \quad (10)$$

Выражение для определения тока заряда примет вид

$$i_C = \frac{E}{R_к + R_{экв}} e^{-t/C(R_к + R_{экв})}. \quad (11)$$

В качестве примера расчетов по предложенной выше методике заряда НЭЭ были построены графические зависимости напряжений и токов заряда аккумуляторной установки по времени с учётом изменения их места расположения, представленные на рисунках 4, 5.

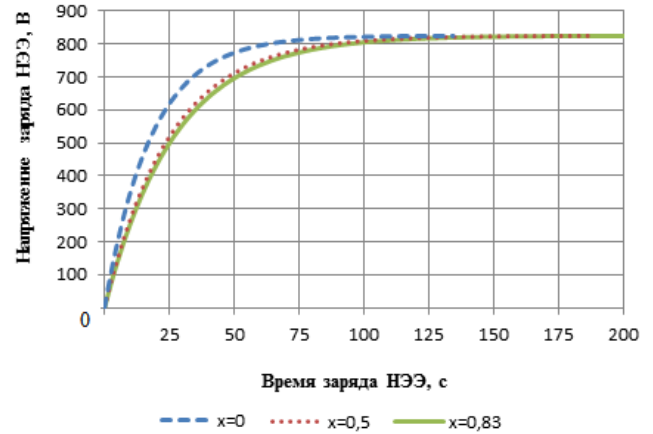


Рисунок 4 – График зависимости напряжения заряда от времени при различных местах расположения НЭЭ

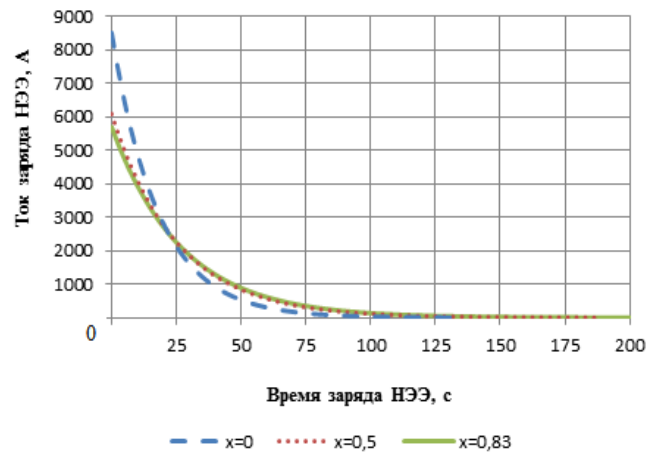


Рисунок 5 – График зависимости тока заряда от времени при различных местах расположения НЭЭ

Следующим этапом рассмотрения процесса заряда НЭЭ является тот факт, что до коммутации емкость на аккумуляторной установке была заряжена до напряжения $U_C(0_-) = U_0$. Тогда выражение напряжения заряда НЭЭ примет вид

$$U_C = E \left(1 - e^{-t/C(R_к + R_{экв})} \right) + U_0 e^{-t/C(R_к + R_{экв})}. \quad (12)$$

Ток заряда НЭЭ составит

$$i_C = \frac{E - U_0}{R_к + R_{экв}} e^{-t/C(R_к + R_{экв})}. \quad (13)$$

По полученным данным были построены графические зависимости напряжений и токов заряда аккумуляторной установки по времени с учётом изменения места расположения НЭЭ (рисунки 6, 7).

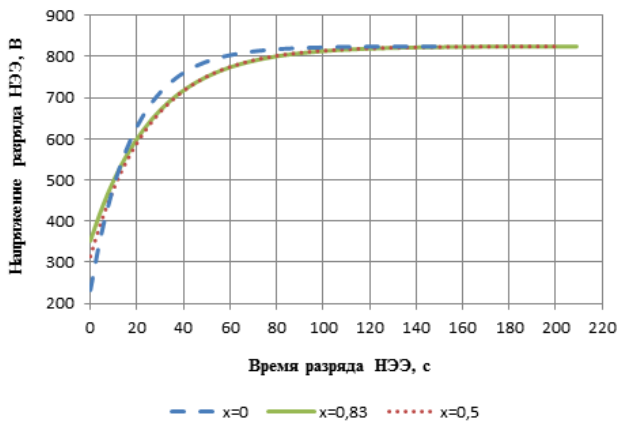


Рисунок 6 – График зависимости напряжения заряда от времени при различных местах расположения НЭЭ

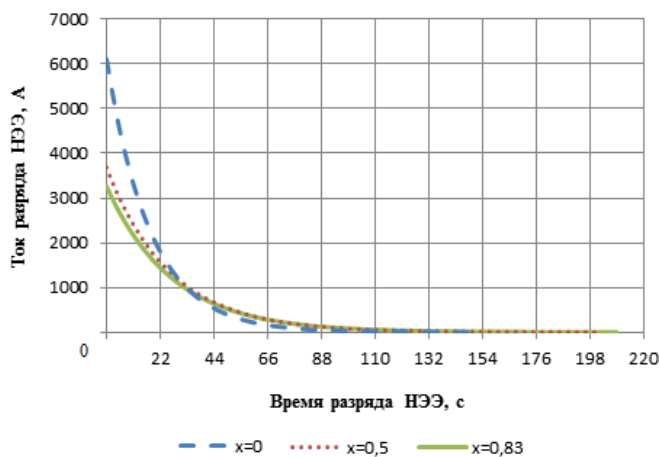


Рисунок 7 – График зависимости тока заряда от времени при различных местах расположения НЭЭ

Из представленных выше графиков (см. рисунки 4–7) можно сделать вывод о том, что процесс заряда протекает интенсивнее, если устанавливать НЭЭ непосредственно на ТП.

Следующим этапом представленной модели является рассмотрение режима разряда накопителя. Анализ процесса разряда НЭЭ в тяговых сетях метрополитена необходимо начать с рассмотрения схемы замещения, изображенной на рисунке 1.

При расчете процесса разряда НЭЭ были приняты следующие допущения:

1 Все тяговые подстанции однотипны, имеют одинаковое внутреннее сопротивление и одинаковый уровень напряжения на шинах.

2 Эквивалентная ЭДС первой ТП и второй соответственно, а также эквивалентные внутренние сопротивления ТП будут определяться по выражениям (5) и (6).

Процесс разряда НЭЭ осуществляются в период возрастания токовой нагрузки и описывается дифференциальным уравнением

$$U_C - U_R = U_C - (R_k + R_{сум})i = E. \quad (14)$$

Тогда напряжение разряда НЭЭ определяется выражением

$$U_C = Ee^{-t/C(R_k + R_{сум})}. \quad (15)$$

По полученным результатам были построены графические зависимости напряжений разряда по времени с учётом изменения места расположения НЭЭ (рисунок 8).

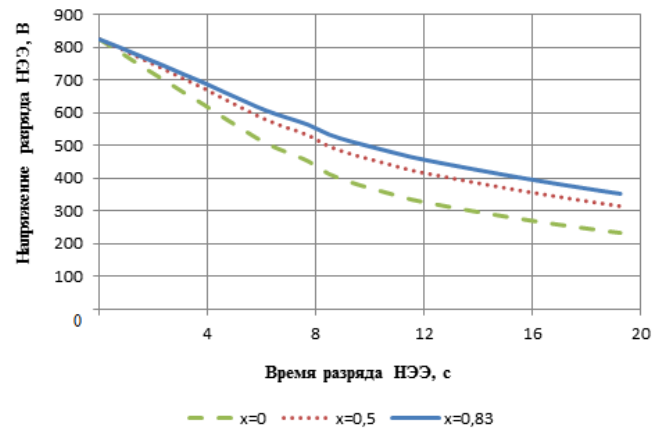


Рисунок 8 – График зависимости напряжения разряда от времени при различном месте расположения НЭЭ

Из графиков следует, что процесс заряда происходит быстрее в том случае, когда накопительная установка располагается на первой ТП, при этом НЭЭ разряжается до минимального напряжения. При удалении установки вдоль фидерной зоны ко второй ТП НЭЭ будет разряжаться медленнее, так как разгон ЭПС осуществляется непосредственно возле первой ТП.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1 Разработанная авторами методика расчета позволяет выполнять исследования процессов заряда-разряда, возникающих при совместной работе НЭЭ и электрифицированного транспорта в тяговых сетях (ТС) метрополитена.

2 При выполнении анализа рационального места подключения накопителей в ТС метрополитена было установлено, что наилучшим местом их размещения является непосредственно ТП, т.к. разгон и торможения ПС происходят в непосредственной близости к ней и процессы заряда-разряда НЭЭ протекают интенсивнее.

Список литературы

1 Сулим, А. А. Обоснование места установки емкостных накопителей энергии в системах тягового электроснабжения метрополитена / А. А. Сулим // *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. – 2013. – Ч. 2. – № 22. – С. 282–285.

2 Черемисин, В. Т. Повышение энергетической эффективности системы тягового электроснабжения в условиях работы постов секционирования с накопителями электрической энергии / В. Т. Черемисин, В. Л. Незевак, А. П. Шадохин // *Известия*

Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2015. – Т. 326. – № 10. – С. 54–64.

3 Сулим, А. А. Обоснование места установки емкостных накопителей энергии в системах тягового электроснабжения метрополитена / А. А. Сулим // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2013. – Вып. № 2/2013 (22). – Ч. 2. – С. 282–285.

4 Тяговые и электрические расчеты по первому участку третьей линии Минского метрополитена от станции Корже-

невского до станции Площадь Юбилейная. Проверка адекватности тяговых и электрических расчетов (заключительный) : отчет о НИР / БелГУТ; рук. В. С. Могила. – Гомель, 2014. – 74 с. – № 2009.33-2с (8280).

5 Быков, Е. И. Тяговые сети метрополитена / Е. И. Быков, Б. В. Панин, В. Н. Пупынин. – М. : Транспорт, 1987. – 256 с.

6 Емкостные накопители в системе электроснабжения метрополитена / В. Ю. Клинов [и др.] // Русский инженер. Энергосберегающие технологии. – 2008. – № 2 (17). – С. 62–64.

Получено 10.11.2017

O. S. Ananieva, V. N. Podolskaya. Technique for calculating transient processes un the joint operation of the traction power supply system of the subway with electrical energy storage.

A technique for calculating the transient processes that arise when the subway and electric rolling stock traction system work together with electric energy storage is developed. Possible options for connecting the storage unit in the traction networks of the subway for the selected settlement area are presented. As a result of the conducted studies, graphical dependences of voltage and charge-discharge currents on time were obtained at various locations of the accumulating unit. The charge-discharge studies of the storage unit have been carried out according to the developed methodology and conclusions have been drawn that the obtained technique can be used in the calculation of traction power supply systems.

УДК 621.313.333

Н. А. САМСОНОВ, магистр технических наук, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, В. С. ЗАХАРЕНКО, кандидат технических наук, Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, В. Г. ШЕВЧУК, доцент, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

СОВРЕМЕННОЕ ПОЛОЖЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВА РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ НЕПРЕРЫВНОЙ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Рассмотрен вопрос о переходе от системы планово-принудительных ремонтов к обслуживанию оборудования по его текущему техническому состоянию, что является одним из основных направлений в ресурсосбережении, так как данное мероприятие позволит более экономично расходовать человеческий и материальный ресурсы предприятия.

Разработка системы непрерывной диагностики состояния высоковольтных асинхронных электродвигателей установки пылегазоудаления на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», на основе прогнозирования развития дефектов позволит повысить эффективность их обслуживания.

Внезапный выход из строя высоковольтных асинхронных электродвигателей предприятия может привести к аварии и длительному простоему производства, что в свою очередь приведёт к прямым финансовым потерям предприятия, которые вызваны нарушением технологического процесса, затратами на восстановление и ремонт электродвигателя. В рамках ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» (далее БМЗ) приведёт также и к штрафам за нарушение экологического законодательства Республики Беларусь из-за отсутствия работоспособной системы пылегазоудаления (далее ПГУ), где эксплуатируется данный тип электродвигателей.

Современные методы диагностики электродвигателей делятся на две группы.

К первой группе относятся методы тестовой диагностики, требующие формирования искусственных возмущений, воздействующих на электродвигатель (выявляемые такие неисправности, как обрыв в обмотке, внутренние дефекты конструкции и т.д.):

- измерение сопротивления изоляции, токов утечки, внутреннего сопротивления обмоток, тангенса угла диэлектрических потерь обмоток;
- метод высоковольтного импульса [1].

Вторая группа включает в себя методы оперативной и функциональной диагностики состояния (выявляемые неисправности: текущее состояние элементов двигателя, повреждения в подшипниковых узлах, внутренние дефекты конструкции, ослабление прессовки стали в сердечнике и т.д.):

- вибродиагностика (спектральный анализ вибрации, низкочастотных колебаний мощности вибрации; диагностика по среднеквадратичному значению вибросигнала);
- оценка диагностических параметров (пик-фактор, резкость, относительная величина ударных импульсов);
- ультразвуковая дефектоскопия и акустическая диагностика;
- спектральный анализ потребляемого тока.

Кроме этого каждая группа делится на две подгруппы: методы, выявляющие неисправность в целом и методы, выявляющие и локализуящие конкретный дефект.

Недостатками методов тестовой диагностики являются, во-первых, тот факт, что они способствуют не только предупреждению развития различных дефектов, но и их появлению [2], а во-вторых – необходимость временной остановки работы проверяемого электродвигателя [3].

Примером могут служить высоковольтные испытания после планово-принудительных ремонтов, которые вызывают появление в обмотке электродвигателя микродефектов, развивающихся в процессе работы под влиянием неблагоприятных факторов.

Контроль состояния электродвигателя методом вибродиагностики имеет основной недостаток в виде необходимости использования датчиков и сложности их установки [4]. Недостатком метода спектрального анализа потребляемого тока является возможность получения неверных результатов из-за появления ложных гармоник сигнала при различных помехах электрической сети с подключенным к ней электродвигателем [5].

Перспективными методами диагностики состояния электродвигателей являются бесконтактные методы в совокупности с математическим моделированием работы двигателя. Суть метода контроля и анализа параметров электродвигателя в комплексе с математическим моделированием его работы заключается в том, что математическая модель имеет динамический характер, обусловленный постоянным обновлением текущих параметров электродвигателя (активное сопротивление обмотки статора, активное сопротивление ротора, индуктивные сопротивления рассеяния контуров статора и ротора, индуктивное сопротивление ветви намагничивания и т.д.) с целью прогнозирования его последующего состояния (выявления дефектов, влияющих на его ресурс). Иными словами, осуществляется диагностика оборудования по его текущему состоянию для определения предаварийного состояния. Преимущество данного подхода заключается в том, что ремонт производится только того оборудования, которому он необходим, оценка состояния производится в процессе эксплуатации, без каких-либо разборок и ревизий, на базе контроля и анализа соответствующих параметров. Затраты на техническое обслуживание электродвигателей снижаются по сравнению с обслуживанием по системе планово-предупредительных ремонтов с остановкой оборудования.

В рамках БМЗ эксплуатируются высоковольтные асинхронные электродвигатели (рисунок 1) мощностью от 1,4 до 2 МВт в системах ПГУ электросталеплавильных цехов, наиболее старыми из них являются электродвигатели ПГУ-2 1984 года выпуска.



Рисунок 1 – Внешний вид высоковольтного асинхронного двигателя мощностью 1,6 МВт, эксплуатируемого в системе пылегазоудаления электросталеплавильного цеха № 2

Контроль состояния эксплуатируемых электродвигателей осуществляется вибрационным методом один раз в квартал во время планово-принудительных ремонтов (рисунок 2). Внеплановая диагностика производится сразу после проведения ремонтных работ при замене какого-либо узла электродвигателя. Критерием оценки служат границы зон вибрационного состояния для электромашин 1-й группы. Из рисунка 2 виден неравномерный характер временных промежутков между проведёнными ремонтными работами над электродвигателем ПГУ-3. Пиковое значение между 10.01.2006 – 15.01.2007 обусловлено полной остановкой производства на данном участке и не учитывалось при дальнейших расчётах. Также в связи с непрерывным характером металлургического производства БМЗ в некоторые промежутки времени возможность проводить плановые ремонтные работы отсутствует до появления окна в работе основного технологического оборудования.

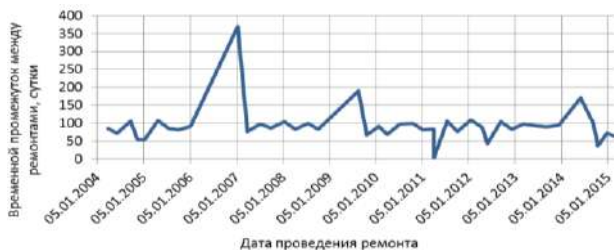


Рисунок 2 – Временные промежутки между ремонтами высоковольтного асинхронного двигателя мощностью 1,6 МВт, эксплуатируемого в системе пылегазоудаления электросталеплавильного цеха № 2

Получено 25.03.2017

N. A. Samsonov, V. S. Zakharenko, V. G. Shevchuk. The current state and prospect of development of methods of continuous diagnostics of the condition of high-voltage electric motors.

Consider the transition from system of planned and compulsory repairs, to service of the equipment in connection of its current technical condition is one of the main directions in resource saving, because this measure will make possible to consume more saving human and material resource of enterprise.

С учётом перечисленных факторов среднее значение временного промежутка между ремонтами электродвигателя ПГУ-3 составило 88 дней.

После завершения мероприятий по контролю за работой электродвигателя службой диагностики БМЗ в адрес эксплуатирующей структуры выдаются протокол проверки и протокол-заключение. По окончании ремонтных работ внесённые в техническую характеристику электродвигателя изменения, а также проведённые манипуляции, фиксируются в паспортной карте конкретной машины.

Таким образом, видна актуальность проблемы разработки и усовершенствования методов и средств диагностирования технического состояния асинхронных высоковольтных электродвигателей системы ПГУ БМЗ. Использование для этого математического моделирования работы электродвигателя позволит уйти от устоявшейся системы планово-предупредительных ремонтов к системе ремонтов по текущему состоянию с последующим прогнозированием будущего состояния электродвигателя и снизить затраты на его техническое обслуживание.

Применение современных радиомоделей для передачи данных контроля по цифровому радиоканалу позволяет получить систему дистанционной диагностики.

Осуществляется разработка математической модели режимов работы высоковольтного асинхронного электродвигателя в пакетах COMSOL Multiphysics и ANSYS.

Список литературы

- 1 **Дубов, А. А.** Проблемы оценки остаточного ресурса стареющего оборудования / А. А. Дубов // Теплоэнергетика. – 2003. – № 11. – С. 54–57.
- 2 **Бобров, В. В.** Оценка эффективности основных методов диагностики асинхронных электродвигателей / В. В. Бобров // АлтГТУ им. И. И. Ползунова. Ползуновский вестник. – 2012. – № 3/1. – С. 198–203.
- 3 **Коверженко, Г. Г.** Высоковольтные импульсные испытания электрических машин / Г. Г. Коверженко // Энергетик. – 2006. – № 7. – С. 42.
- 4 **Браташ, О. В.** Анализ методов вибродиагностики асинхронных двигателей / О. В. Браташ, А. П. Калинов // Вестник Кременчугского государственного политехнического университета. – 2006. – № 4. – С. 105–107.
- 5 **Петухов, В.** Диагностика состояния электродвигателей. Метод спектрального анализа потребляемого тока / В. Петухов, В. Соколов // Новости электротехники. – 2005. – № 1. – С. 5–6.

УДК 629.42.053

В. В. БУРЧЕНКОВ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕГУЛЯТОРА СКОРОСТИ ГОРОЧНОГО ТЕПЛОВОЗА

Определены показатели энергетической цепи тепловоза, влияющие на скорость движения локомотива. Осуществлен выбор законов управления для системы автоматического регулирования скорости тепловоза. Произведена оптимизация параметров регулятора скорости горючего тепловоза.

Основным элементом полурейса горючего тепловоза, который определяет эффективность применения переменной скорости роспуска, является разгон. Наиболее правильной основой для определения динамических характеристик разгона являются тяговые расчеты.

В магистральном движении определение характеристик процесса ведения поезда по участку осуществляется при помощи предварительно составленных программ автоведения, основанных на графике движения поездов по участку, известном весе поезда, плане и профиле участка и т.д.

Анализ технологии работы сортировочных станций и особенностей работы горючего тепловоза показывает, что тяговые расчеты в полном объеме перед началом полурейса горючего локомотива трудно произвести вследствие переменной массы состава и переменной скорости движения. Очевидно, что для обеспечения нужных показателей процесса роспуска составов необходимо проведение периодических или спорадических тяговых расчетов в течение всего полурейса горючего тепловоза.

Мощность дизеля, необходимая для осуществления движения состава с указанной скоростью, определится из выражения [1]

$$N_e = \frac{U_3(P+Q)(w_0+i)}{270h}, \quad (1)$$

где U_3 – заданная скорость движения; P – масса локомотива; Q – масса состава; w_0 – сопротивление движению; h – отношение средней касательной мощности тепловоза к мощности дизеля (степень приближения реальной тяговой характеристики к идеальной).

Принимая во внимание, что система автоматического регулирования уровня мощности дизель-генератора в пределах рабочей части характеристики на каждой из рабочих позиций контроллера поддерживает мощность генератора постоянной, справедливо тождество

$$N_e = \gamma_p i_{vy} U_T,$$

где γ_p – обобщенный коэффициент преобразования; i_{vy} – ток нагрузки тягового генератора; U_T – сигнал скорости движения локомотива с составом.

При установившемся движении касательная сила тяги F_k должна уравновешивать сопротивление движению $\sum W$:

$$F_k = \sum W.$$

Для определения взаимодействия скорости движения локомотива и координат энергетической цепи тепловоза ЭЦТ – тока нагрузки i_{vy} и угловой скорости U_T вала дизеля использована паспортная зависимость тока нагрузки тепловоза ТЭМ7 от скорости [2]. Преобразование этой характеристики в зависимость номера позиции регулятора дизеля от произведения $i_{vy}U_T$ для постоянных значений токов нагрузки осуществлено графоаналитическим способом. Незначительная нелинейность кривых семейства полученных характеристик позволила определить значение требуемой позиции регулятора дизеля.

Для повышения точности регулирования необходимо наряду со ступенчатым управлением дизелем ввести регулирование мощности тягового синхронного генератора СГ. Обозначив сигнал управления для тягового генератора через U_c , можно получить тождество

$$U_y = U_n + U_c, \quad (2)$$

позволяющее сформировать следующую зависимость для контуров ступенчатого и аналогового управления силой тяги:

$$U_n + U_c = K_{py} U_i U_u + K_r U_i + K_\delta U_u + K_0 D_0, \quad (3)$$

где D_0 – начальное значение аргумента; K_{py} , K_r и K_δ – коэффициенты, определяемые из аппроксимированного семейства характеристик; U_i , U_u – сигналы нагрузки тягового генератора, соответственно, по току и напряжению; U_n – сигнал ступенчатого управления дизелем.

Сигнал управления U_T обусловлен ошибкой квантования, что дает возможность выбора закона управления для контура регулирования тока тягового генератора и определения его параметров.

При определении закона управления для контура регулирования СГ используются следующие предпосылки и допущения:

– регулирующее воздействие U_i контура регулирования тока тягового генератора СГ ограничено мощностью силовой установки, приходящееся на одну позицию регулятора дизеля, и должно обеспечивать астатическое регулирование;

– условия работы горючего тепловоза и техническое состояние рельсов, характеристики упругого скольжения колесных пар по рельсам и величины ускорений, развиваемых локомотивами, существенно ограничивают использование дифференциальной составляющей сигнала обратной связи на скорости;

– передаточная функция состава с локомотивом, как объекта управления, имеет выражение, соответствующее инерционному звену первого порядка с запаздыванием, а именно:

$$w_{c(s)} = \frac{K_c e^{-\tau_0 s}}{T_c s + 1}, \quad (4)$$

где τ_0 – время запаздывания объекта; T_c , K_c – соответственно коэффициент усиления и постоянная времени локомотива с составом;

– применение регуляторов с нелинейными законами придает системе автоматического регулирования скорости САРС свойство инвариантности по отношению к изменениям собственных характеристик автоматизированного объекта, и к действующим на него внешним воздействиям.

При программном изменении задания время переходного процесса в практически реализуемой системе не может быть меньше, чем время запаздывания. Из этого следует условие взаимосвязи регулируемой величины U_y с U_c при идеализированном регуляторе:

$$U_{y(s)} = U_{c(s)} e^{-\tau_0 s}. \quad (5)$$

Для замкнутой САРС

$$U_{y(s)} = U_{c(s)} \frac{w_{p(s)}}{1 + w_{p(s)}} = U_{c(s)} w_{z(s)}, \quad (6)$$

где $w_{p(s)} = w_{y(s)} w_{cr(s)} w_{c(s)}$ – передаточная функция разомкнутой САРС; $w_{z(s)}$ – соответственно, замкнутой САРС; $w_{y(s)}$ – передаточная функция регулятора.

Из совместного рассмотрения выражений (5) и (6) следует, что передаточная функция замкнутой САРС, содержащей идеализированный регулятор, должна быть вида

$$w_{z(s)} = e^{-\tau_0 s}. \quad (7)$$

В свою очередь передаточная функция замкнутой САРС, с учетом параметров локомотива с составом, имеет вид

$$w_{z(s)} = \frac{w_{y(s)} w_{cr(s)} w_{c(s)}}{1 + w_{y(s)} w_{cr(s)} w_{c(s)}}. \quad (8)$$

Приравняв правые части выражений (7) и (8) и решая полученное уравнение относительно $w_{y(s)}$, получим передаточную функцию идеализированного регулятора

$$w_{y(s)} = \frac{e^{-\tau_0 s}}{w_{cr(s)} w_{c(s)} (1 - e^{-\tau_0 s})}. \quad (9)$$

Передаточная функция (9) является трансцендентной и ее реализация затруднительна. В целях создания практически реализуемой САРС следует в передаточной функции (9) идеализированного регулятора звено запаздывания аппроксимировать в виде [3]

$$e^{-\tau_0 s} \approx 1 - \tau_0 s. \quad (10)$$

В результате такой аппроксимации выражение (9) с учетом передаточной функции (10) приводится к виду

$$w_{y(s)} = \frac{T_c s + 1}{w_{cr(s)} K_c \tau_0 s}. \quad (11)$$

Заменив $w_{cr(s)}$ ее значением, приведенным в [4], выражение (11) можно представить в виде

$$w_{y(s)} = \frac{T_c s + 1}{K_{cr} K_c \tau_0 s} = \frac{T_c}{K_{cr} K_c \tau_0} \left[1 + \frac{1}{T_c s} \right]. \quad (12)$$

Полученная передаточная функция регулятора (12) отражает пропорционально-интегральный (ПИ) закон регулирования [4]. Параметры ПИ-регулятора – коэффициент усиления K_{py} и постоянная времени T_{py} , с учетом выражения (12), должны соответствовать следующим зависимостям:

$$K_{py} = \frac{T_c}{K_{cr} K_c \tau_0}, \quad T_{py} = T_c. \quad (13)$$

Из анализа последнего выражения следует, что параметры ПИ-регулятора зависят от параметров состава с локомотивом. Непосредственное использование T_c и K_c затруднительно, т.к. измерение их связано с большими техническими сложностями. При поиске косвенной информации, эквивалентной T_c и K_c , выбор был остановлен на координатах состояния ЭЦТ $1/U_{рд}$ и U_i , характер которых приближенно соответствует характеру изменения T_c и K_c в процессе роспуска. При использовании выражения $1/U_{рд} + U_i$ в качестве сигнала коррекции U_k для контура регулирования СГ, параметры этого контура K_{py} и T_{py} будут иметь постоянные значения. Введение коррекции

$$U_k = \frac{1}{U_{рд}} + U_i \quad (14)$$

позволяет сформировать САРС инвариантной по отношению к возмущающему воздействию от изменения массы состава.

Методика анализа качества управления горочным тепловозом основана на моделировании процесса движения локомотива с составом в режиме надвига и роспуска с программным изменением скорости движения. В процессе исследований определен характер изменения регулируемой величины и степень приближения координаты $U_{рд}$ к угловой скорости вала дизеля.

Влияние на $U_{рд}$ коэффициентов $K_{ру}$, K_r , K_γ и K_0 исследовано с использованием теории планирования эксперимента. Моделирование осуществлялось для шестнадцати вариантов системы. При этом на ЭВМ моделировался процесс изменения скорости при ступенчатом управляющем воздействии и фиксированных, в соответствии с матрицей планирования эксперимента, коэффициентах уравнения (3). Сравнение результатов моделирования и аналитического расчета показало, что предложенная методика хорошо согласуется с результатом эксперимента.

При выбранной структуре и алгоритме управления САРС исследование динамики сводится к решению задачи параметрической оптимизации управляющего устройства по выбранному критерию. Из особенности эксплуатации САРС следует, что минимизация перерегулирования является основным условием нормального функционирования системы, так как потери времени на ликвидацию повторной сцепки отделившегося отцепы от состава превышают затраты времени, обусловленные влиянием остальных неоптимизируемых показателей качества на время роспуска. Для нахождения экстремума функции применен метод Бокса – Уилсона. В качестве исследуемых факторов выбраны параметры регулятора $T_{ру}$ и $K_{ру}$ и корректирующих цепей K_v и $K_{рд}$. Реализация матрицы планирования эксперимента также осуществлена для 16 вариантов системы.

Исследования показали, что использование метода движения по градиенту обеспечивает повышение качества переходных процессов. Получены расчетные значения перерегулирования, составляющие 9 %, что меньше установленных.

Получено 24.10.2017

V. V. Burchankou. Optimization of parameters regulation of speed for the hump locomotives.

The parameters of the diesel locomotive power chaine influencing the locomotive speed have determined. The choice of control laws has been implemented for the system of automatic speed control of hump locomotive. Optimization of parameters of speed regulators of a dairy locomotive has made.

Выводы. Предложенный метод оптимизации параметров САРС горочного тепловоза позволяет обеспечить следующие показатели качества: перерегулирование не превышает 10 %; погрешность регулирования скорости движения вагонов составляет 5 %; среднее число переключений позиций регулятора дизеля на роспуск одного состава равно 6,17; системой управления реализуются ускорения 0,05–0,07 м/с²; расход топлива уменьшен на 10 %. Использование системы САРС на горочном тепловозе повышает перерабатывающую способность сортировочной горки на 290 в сутки.

Список литературы

- 1 **Бурченков, В. В.** Особенности функционирования средств автоматического управления скоростью надвига и роспуска составов на сортировочной горке / В. В. Бурченков // Проблемы и перспективы развития устройств автоматики, телемеханики, связи и вычислительной техники на железнодорожном транспорте. – Ростов н/Д : РГУПС. – 1999. – С. 21–24.
- 2 **Назаров, Л. С.** Маневровые тепловозы / Л. С. Назаров. – М. : Транспорт, 1977. – 404 с.
- 3 **Баранов, Л. А.** Микропроцессорные системы автоведения электроподвижного состава / Л. А. Баранов [и др.]. – М. : Транспорт, 1990. – 272 с.
- 4 **Бурченков, В. В.** Исследование регулятора скорости тепловоза ЧМЭЗМ в условиях надвига и роспуска составов / В. В. Бурченков // Вестник ВНИИЖТ. – 1982. – № 6. – С. 25–28.

УДК 37.016:5023

В. С. ДЕЦУК, кандидат химических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ПРИ СЖИГАНИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ТОПЛИВ В КОТЛАХ ТЭС

Рассмотрено влияние типа конструкции горелок на выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Произведен расчет эмиссии оксидов азота, который показал максимальную эффективность использования горелок двухступенчатого сгорания. Установлено, что рациональный выбор конструкции горелок может без дополнительных вложений снизить эмиссию оксидов азота в атмосферный воздух.

Одним из основных источников загрязнения атмосферного воздуха, особенно оксидами азота NO_x , являются тепловые электрические станции, сжигающие органическое топливо.

В настоящее время принято считать, что оксиды азота при горении образуются в результате четырех основных механизмов, из которых первые три являются существенными для топок котлов: «термического» – по цепному механизму Зельдовича; «быстрого» – за счет активации молекулярного азота по реакциям с углеводородными радикалами, присутствующими в зоне реакции; «топливного» – за счет окисления присутствующих в топливе азотсодержащих соединений; четвертый механизм (образование через N_2O) имеет существенное значение при больших избытках воздуха (газовые турбины и т.п.) [1].

Методы снижения образования оксидов азота направлены на подавление «термических», а при необходимости также и «топливных» NO_x . Снижение образования «термических» NO_x достигается путем воздействия главным образом на максимальную температуру горения, что обеспечивается вводом газов рециркуляции, воды и пара в зону горения или в дутьевой воздух, а также двух- и трехступенчатым сжиганием топлива, снижающим максимальную температуру и содержание кислорода в зоне максимальных температур. Выход «топливных» NO_x в меньшей мере зависит от максимальной температуры, но сильно зависит от избытка воздуха, поэтому здесь более эффективным является ступенчатое горение.

При сжигании газа часто удается существенно уменьшить выход «термических» NO_x , приблизив их концентрации к уровню «быстрых» или к $100\text{--}120 \text{ мг/м}^3$ при холодном дутьевом воздухе и к $150\text{--}200 \text{ мг/м}^3$ при горячем воздухе. Чаще всего для снижения выбросов оксидов азота на действующих ТЭС применяются так называемые технологические (или внутритопочные) мероприятия, в частности внедрение технологических методов по подавлению эмиссии оксидов азота в топках, применяя наиболее рациональные режимы горения или конструкции горелок. Поскольку при разработке систем отопления предпочтение отдается требованиям технологии, в основу классификации горелочных устройств положены степень развития в них процесса смешения топлива с воздухом для горения. Различают инжекционные горелки, в которых струи газа инжектируют воздух, и дутьевые (или напорные), в которых воздух подается принудительно при помощи автономного дутьевого вентилятора или встроенного вентилятора, а также горелки двухступенчатого сгорания [2].

Метод рециркуляции дымовых газов широко применяется в котельной технике. Обычно дымовые газы с температурой $300\text{--}400 \text{ }^\circ\text{C}$ отбираются перед воздухоподогревателем и специальным рециркуляционным дымоходом подаются в топочную камеру. В результате максимальная температура в топке снижается на $120\text{--}130 \text{ }^\circ\text{C}$ и, кроме того, падает концентрация кислорода в зоне горения, что также уменьшает образование топливных NO_x . При этом КПД котла снижается сравнительно мало ($0,01\text{--}0,03 \%$ на 1% рециркулирующих газов).

Наибольшее распространение получил ввод дымовых газов рециркуляции в смеси с дутьевым воздухом. Подача рециркуляционных газов с топливом более эффективно снижает выход оксидов азота, чем подмешивание их в дутьевой воздух. При одинаковой степени рециркуляции, например при сжигании газа, в первом случае выход NO_x снижается на $45,4 \%$, а во втором – на $22,7 \%$. Это имеет существенное значение, так как применение рециркуляции приводит к снижению КПД котлов пропорционально количеству подаваемых газов рециркуляции. Так, при увеличении степени рециркуляции с 20 до 30% КПД котла снижается соответственно на $0,5$ и $0,75 \%$.

Применение рециркуляции связано с определенными трудностями, к которым относится необходимость в специальном рециркуляционном вентиляторе и в газоходах. Кроме того, повышается сопротивление воздушного тракта, возможны нарушения стабилизации пламени или появление сажи при чрезмерной степени рециркуляции. В настоящее время рециркуляция газов применяется в мощных котлах энергоблоков, работающих на угольной пыли, мазуте и природном газе. Очень широко используется рециркуляция газов и в зарубежных котлах. По результатам исследований влияния подачи газов рециркуляции в дутьевой воздух на выход NO_x , проведенных Институтом газа НАНУ, подача газов рециркуляции в количестве 20% от объема воздуха, необходимого для горения, позволяет в 2 раза снизить выход оксидов азота, но при этом КПД котла снижается на $0,64 \%$.

Кроме того, из-за перегрузки тягодутьевых устройств на максимальной нагрузке котла, где выход оксидов азота наибольший, рециркуляция часто не используется или используется недостаточно.

Принцип организации двухступенчатого сжигания заключается в пространственном разделении в объеме топочной камеры двух основных процессов (ступеней), влияющих на образование оксидов азота. Через основные горелки в топочную камеру подается топливо с

недостатком воздуха ($a < 1$), а остальная (необходимая для полного сгорания топлива) часть воздуха подается далее по факелу через специальные сопла. При упрощенном двухступенчатом сжигании вместо специальных сопел для ввода воздуха используются отключенные по топливу горелки.

Важнейшей особенностью ступенчатого сжигания является наличие восстановительной зоны, где из-за недостатка воздуха появляются продукты неполного сгорания CO и H₂, а оксид азота не образуется. Этот основополагающий принцип – формирование в факеле восстановительной зоны – в настоящее время широко применяется также при разработке малотоксичных горелок.

При ступенчатом сжигании концентрация NO в восстановительной зоне снижается, а при трехступенчатом сжигании оксид азота, поступивший из окислительной зоны, даже восстанавливается до молекулярного азота.

Конструктивно стадийное горение применяют в котельных агрегатах с многоярусным расположением горелок, что позволяет регулировать соотношение топливо – воздух по длине факела. Горелочные устройства нижнего яруса работают с недостатком воздуха, остальной воздух подается через фурмы воздушного дутья или горелочные устройства верхнего ряда, куда топлива подается мало или оно совсем не подается.

Горелки инжекционного типа, в которых образование газозвушной смеси происходит за счет энергии струи газа, могут быть в зависимости от количества инжектируемого воздуха с неполной инжекцией воздуха и с полным предварительным смешением газа с воздухом.

Принцип действия инжекционной горелки заключается в том, что поток воздуха всасывается при воздействии мощной газовой струи в корпус, где происходит их смешение. Такой принцип действия возможен при условии давления газа, которое равняется атмосферному давлению. Газ во время прохождения сквозь сопло сильно ускоряется, что способствует образованию разрежения за соплом. Горелки, у которых происходит полное смешение газа среднего давления с необходимым количеством воздуха, в процессе работы выпускают небольшое пламя, а сам процесс заканчивается в минимальном объеме. Газовые горелки, у которых воздух с газом смешиваются только частично, в корпус для смешения попадает только от 40 до 60 % необходимого воздуха. Остальной необходимый воздух поступает извне непосредственно к самому пламени за счет разрежения в топках смеси газовых и воздушных потоков, которые инжектировались в смеситель.

Самыми весомыми недостатками односопловых горелок являются:

- большая длина, учитывая высокую тепловую мощность;
- ось сопла должна строго совпадать с осью горелки;
- слишком шумные в работе.

К недостаткам горелок с низким газовым давлением относят:

- большую длину факела;
- влияние топочного разжижения на интенсивность подачи вторичного воздуха [3].

При всем разнообразии конструкций горелок, их достоинств и недостатков при выборе той или иной модификации обычно упускается аспект эмиссии загрязняющих веществ и их сравнительный анализ.

Целью работы является сравнение уровня эмиссии оксидов азота при использовании горелок различных конструкций при сжигании органических топлив в котлах ТЭС.

Исходные данные для расчета эмиссии оксидов азота: водогрейный котел работает в общем случае; температура горячего воздуха (воздуха для дутья) $t_{гв} = 30$ °С; доля воздуха, подаваемого в промежуточную зону факела, $\delta = 0$; рециркуляции нет; объем сухих дымовых газов рассчитывается по составу топлива; теплонепряжение топочного объема рассчитывается; в качестве топлива используется природный газ, газопровод – Уренгой – Надым – Пунга – Ухта.

Расчет выделений загрязняющих веществ выполнен в соответствии с «Методикой определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании топлива в котлах производительностью менее 30 т пара в час или менее 20 Гкал в час» [4].

Суммарное количество оксидов азота NO_x, т/год, в пересчете на NO₂, выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами, рассчитывается по формуле

$$M_{NO_x} = B_p Q_i^r K_{NO_2}^r \beta_k \beta_r \beta_a (1 - \beta_r)(1 - \beta_\delta) k_n, \quad (1)$$

где B_p – расчетный расход топлива, л/с; Q_i^r – низшая теплота сгорания топлива, МДж/нм³; $K_{NO_2}^r$ – удельный выброс оксидов азота при сжигании газа, г/МДж,

$$K_{NO_2}^r = 0,01\sqrt{D} + 0,03; \quad (2)$$

D – фактическая паропроизводительность котла, т/ч; β_k – безразмерный коэффициент, учитывающий принципиальную конструкцию горелки; β_r – безразмерный коэффициент, учитывающий температуру воздуха, подаваемого для горения; β_a – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние избытка воздуха на образование оксидов азота; β_r – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рециркуляции дымовых газов через горелки на образование оксидов азота; β_δ – безразмерный коэффициент, учитывающий ступенчатый ввод воздуха в топочную камеру; k_n – коэффициент пересчета, $k_n = 10^{-3}$.

Коэффициент β_r определяется по формуле

$$\beta_r = 1 + 0,002(t_{гв} - 30), \quad (3)$$

где $t_{гв}$ – температура горячего воздуха, °С.

Коэффициент β_δ определяется по формуле

$$\beta_\delta = 0,022\delta, \quad (4)$$

где δ – доля воздуха, подаваемого в промежуточную зону факела (в процентах от общего количества организованного воздуха).

В связи с установленными отдельными ПДК для оксида и диоксида азота и с учетом трансформации оксида азота в атмосферном воздухе суммарные выбросы оксидов азота разделяются на составляющие по формулам

$$M_{NO_2} = 0,8M_{NO_x}; \quad (5)$$

$$M_{NO} = 0,13M_{NO_x}. \quad (6)$$

Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1– Валовые выбросы оксидов азота при использовании различных типов горелок

Загрязнитель	Валовый выброс, т/год		
	Горелка дутьевая напорного типа	Горелка инжекционного типа	Горелка двухступенчатого сгорания
Азота диоксид (азот (IV) оксид)	2,764326	3,065438	2,613771
Азот (II) оксид (азота оксид)	0,449203	0,498134	0,424738

Результаты расчетов показали, что суммарное выделение оксидов азота максимально при использовании горелок инжекционного типа. У горелок дутьевого напорного типа выбросы ниже на 11 %, а при использовании горелок двухступенчатого сгорания – на 15 %, которые к тому же имеют наиболее простую конструкцию. Таким образом, рациональный выбор конструкции

горелок может без дополнительных вложений снизить эмиссию оксидов азота в атмосферный воздух.

Список литературы

- 1 30 Years of Energy Use in IEA Countries. – Paris : IEA, 2004. – 211 p.
- 2 Advice on Developing an Energy Efficiency Strategy. – Brussel : Energy Charter Secretariat, 2001. – 36 p.
- 3 **Кузнецов, В. А.** Сравнительные исследования эффективности сжигания природного газа в топках с подовыми горелками при переводе котлов с твердого топлива на природный газ / В. А. Кузнецов, Е. В. Шуршакова // Экология и строительство. – 2016. – № 1. – С. 4–6.
- 4 **ТКП 17.08-04-2006.** Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Порядок определения выбросов при сжигании топлива в котлах теплопроизводительностью более 25 МВт. – Введ. 2006-06-28. – Минск : Минприроды, 2006 – 37 с.

Получено 28.11.2017

V. S. Detsuk. Methods of reducing pollutant emissions when burning Fossil fuels in the boilers of tpp.

The article discusses the influence of the design of burners for emissions of polluting substances into the atmosphere. The calculation of the emissions of nitrogen oxides showed a maximum efficiency burner two stage combustion. Rational design of burners may, without additional investments to reduce emissions of nitrogen oxides in atmospheric air.

УДК 656.259.12

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

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ПРИЕМНИКАХ ТОНАЛЬНЫХ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ

Рассмотрены теоретические основы проектирования микропроцессорных приемников тональных рельсовых цепей, в которых реализуются статистические методы обработки сигнала. Приведены функции правдоподобия и формулы для расчета порога для детекторных и корреляционных приемников амплитудно-модулированного сигнала. Эти соотношения позволяют разрабатывать алгоритмы и программы функционирования решающего устройства приемника рельсовой цепи. Отмечены способы реализации корреляционных приемников средствами цифровой электроники и сбора статистической информации о шумах рельсовой цепи. Обсуждаются вопросы подготовки специалистов для разработки и обслуживания микропроцессорных систем автоблокировки.

Основным направлением повышения безопасности движения поездов на перегонах в настоящее время является внедрение микропроцессорных систем автоблокировки и тональных рельсовых цепей (ТРЦ) [1]. В [1] предложено использовать в приемниках ТРЦ статистические методы обработки сигнала, что позволяет повысить достоверность определения режима ТРЦ и установки показаний проходного светофора. Аналогичные технические решения апробированы в радиолокационных системах (РЛС), к которым предъявляются очень высокие требования по обнаружению слабого сигнала на фоне помех [2, 3]. К сожалению, в [1] вопросы проектирования таких приемников описаны недостаточно подробно для практического применения. Предметом настоящей статьи и является изложение теоретических основ разработки алгоритмов работы приемников ТРЦ этого вида.

Согласно [1], на входе приемника ТРЦ могут действовать следующие типы сигналов: в нормальном режиме ТРЦ – смесь амплитудно-модулированного полезного сигнала ТРЦ и помех; в шунтовом и контрольном режимах – смесь остаточного амплитудно-модулированного сигнала от соседних ТРЦ и помех. Помехи являются аддитивными, флуктуационными. Предполагается, что мультипликативные помехи учтены при проектировании ТРЦ методом наихудших условий; мощные импульсные помехи подавляются схемами защиты. Тогда приемник в силу статистического характера сигнала на входе осуществляет статистическое решение путем проверки статистических гипотез: H_0 – ТРЦ исправна и свободна (состояние S_0); H_1 – ТРЦ или занята или повреждена (состояние S_1).

В теории статистических решений [4] проверка статистических гипотез осуществляется на основе решающего правила: $\Lambda \leq h$ – принимается гипотеза H_1 ; $\Lambda > h$ – принимается гипотеза H_0 , где Λ – функция правдоподобия; h – порог.

С позиций технической кибернетики работа приемника ТРЦ может рассматриваться как распознавание состояния рельсовой цепи S_0 или S_1 методами статисти-

ческих решений [5]. Следовательно, для проектирования приемника ТРЦ необходимо иметь выражение для функции правдоподобия и правило вычисления порога.

В [1] обоснован выбор порога для приемников ТРЦ по критерию Неймана – Пирсона [4, 6] с учетом того, что в системах автоблокировки нормируется вероятность пропуска состояния S_1 . Другими словами, нормируется вероятность превышения шумом некоторого порога (рисунок 1).

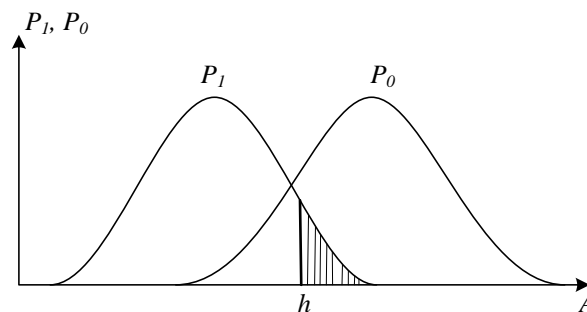


Рисунок 1 – Принцип назначения порога по критерию Неймана – Пирсона

Рассмотрим приемник ТРЦ, в котором реализовано микропроцессорное решающее устройство (РУ), принимающее решение о наличии демодулированного сигнала на выходе синхронного либо линейного демодулятора [1]. Эти методы демодуляции хорошо известны из теории радиотехнических цепей [7–9]. Аналогичное техническое решение существует в цифровых РЛС [2]. Следует указать, что имеется возможность осуществить и цифровую демодуляцию [10], но это может потребовать сложных алгоритмов и значительных вычислительных ресурсов.

Так как микропроцессорная система работает с отсчетами принимаемого сигнала, то функция правдоподобия для такого РУ [2, 6]

$$\Lambda = \prod_{i=1}^n \frac{P_0 \varphi_i}{P_1 \psi_i} \quad (1)$$

где n – число отсчетов; A_i – значение отсчета, В; P_0 – плотность вероятности смеси «сигнал/шум», P_1 – плотность вероятности шума.

Доказано [6–8], что при линейном детектировании на выходе детектора распределение плотности вероятности смеси «сигнал/шум» подчиняется закону Рэлея – Райса

$$P_0(A) = \frac{A}{\sigma_{\text{сш}}^2} \exp\left(-\frac{A^2 + S_m^2}{2\sigma_{\text{сш}}^2}\right) I_0\left(\frac{AS_m}{\sigma_{\text{сш}}}\right), \quad (2)$$

где A – значение принятого напряжения, В; $\sigma_{\text{сш}}$ – дисперсия смеси «сигнал/шум», S_m – амплитудная огибающая детектируемого сигнала, В; I_0 – модифицированная функция Бесселя нулевого порядка.

Распределение плотности шума на выходе того же детектора подчиняется закону Рэлея

$$P_1(A) = \frac{A}{\sigma_{\text{ш}}^2} \exp\left(-\frac{A^2}{2\sigma_{\text{ш}}}\right), \quad (3)$$

где $\sigma_{\text{ш}}$ – дисперсия шума.

После подстановки (2) и (3) в (1) и преобразований получается функция правдоподобия

$$\Lambda = \prod_{i=1}^n \frac{\sigma_{\text{ш}}^2}{\sigma_{\text{сш}}^2} \exp\left(-\frac{A_i^2 + S_m^2}{2\sigma_{\text{сш}}^2} + \frac{A_i^2}{2\sigma_{\text{ш}}}\right) \times I_0\left(\frac{A_i S_m}{\sigma_{\text{сш}}}\right). \quad (4)$$

По рисунку 1 порог срабатывания и вероятность пропуска состояния S_1 связаны соотношением

$$P_{\text{пр}} = \int_h^{\infty} P_1(A) dA. \quad (5)$$

После подстановки (3) в (5), интегрирования и преобразований получается формула для определения порога

$$h = \sigma_{\text{ш}} \sqrt{2 \ln \frac{1}{P_{\text{пр}}}}, \quad (6)$$

В [8] показано, что при синхронном детектировании плотность вероятности смеси «сигнал/шум» подчиняется нормальному закону с математическим ожиданием

$$\mu = 0,5 U_m U_r \cos(\varphi_c - \varphi_r)$$

и дисперсией

$$\sigma_{\text{сш}} = \frac{1}{16} U_r^2 \sigma$$

где U_m – амплитуда сигнала, В; U_r – амплитуда несущей, В; φ_c – начальная фаза сигнала, рад; φ_r – начальная фаза несущей, рад; σ – дисперсия шума на входе приемника.

Плотность вероятности шума в этом случае подчиняется нормальному закону с нулевым математическим ожиданием. Дисперсия же вычисляется по указанной выше формуле. Тогда, после подстановки в (1) выражений нормального закона с приведенными выше параметрами при учете того, что дисперсия смеси «сигнал/шум» не равна дисперсии шума, получается функция правдоподобия

$$\Lambda = \prod_{i=1}^n \frac{\sigma_{\text{ш}}}{\sigma_{\text{сш}}} \exp\left(-\frac{A_i - \mu}{2\sigma_{\text{сш}}^2} + \frac{A_i^2}{2\sigma_{\text{ш}}^2}\right). \quad (7)$$

Подстановкой в (5) нормального закона плотности распределения шума на основании рисунка 1 получается формула для расчета порога срабатывания

$$P_{\text{пр}} = \frac{1}{2} - \Phi\left(\frac{h}{\sigma_{\text{ш}}}\right), \quad (8)$$

где Φ – интеграл вероятности.

Другим возможным техническим решением при разработке ТРЦ является применение корреляционного приемника. В [1, 4] показано, что в этом случае функция правдоподобия для достаточно большого числа модулированных сигналов и флуктуационной аддитивной помехи имеет вид

$$\Lambda = \frac{\exp\left(-\int_0^T \frac{y(t) s(t)}{\sigma_{\text{сш}}} dt\right)}{\exp\left(-\int_0^T \frac{n(t)}{\sigma_{\text{ш}}} dt\right)}, \quad (9)$$

где T – период сигнала, с; $y(t)$ – смесь «сигнал/шум»; $s(t)$ – известный сигнал; $n(t)$ – шум.

После преобразования из (9) получается решающее правило:

$$\int_0^T y(t) s(t) dt \geq z_0; \quad (10)$$

$$z_0 = E_0 + \frac{\sigma_{\text{сш}}}{2} \ln h - \frac{\sigma_{\text{сш}} - \sigma_{\text{ш}}}{2} \Delta f, \quad (11)$$

где E_0 – энергия сигнала, Дж; Δf – полоса частот сигнала, Гц.

Значение порога в формуле (11) вычисляется из (8).

Таким образом, для реализации такого приемника требуется коррелятор, осуществляющий перемножение и интегрирование сигнала. В [3] указывается, что допустима реализация умножения цифровым перемножителем и интегрирования – цифровым сумматором с памятью. Эти узлы реализуются в микропроцессорной системе.

Приведенные выражения для решающих правил, функций правдоподобия и порога распознавания дают возможность решить следующие задачи проектирования ТРЦ:

1 Выбор типа приемника. Сравнительный анализ описанных выше методов обработки сигналов в приемниках ТРЦ показывает, что корреляционные приемники отличаются наибольшей сложностью алгоритмов и затрат вычислительных ресурсов. Алгоритм функционирования микропроцессорного РУ при синхронном детектировании наиболее прост, так как не требует вычисления функции Бесселя. Но в аппаратной части требуются высококачественные фильтры для подавления высших гармоник после детектора [7, 8].

2 Определение перечня исходных данных для работы РУ и числовых величин этих данных.

3 Разработка алгоритма и программы работы РУ в части реализации вычисления значения выбранной функции правдоподобия, сравнения его с порогом и выработки управляющих сигналов.

Кроме того при проектировании аппаратуры сигнальной точки автоблокировки может быть предусмотрена функция сбора статистической информации для определения законов распределения плотности вероятности шума в ТРЦ и параметров этих законов. Такие измерения необходимы для решения задачи адаптации приемников ТРЦ к реальным условиям эксплуатации. Необходимость проведения указанных измерений неоднократно обсуждалась в публикациях по проектированию и эксплуатации систем железнодорожной автоматики [11, 12].

Представляется полезным на основании результатов статьи высказать некоторые соображения о подготовке специалистов по железнодорожной автоматике и телемеханике с учетом тенденций развития систем автоблокировки. При изучении теоретических основ связи, во-первых, необходимо изучение случайных процессов, помех и их воздействия на прием сигналов с различными типами модуляции [1, 7]. Во-вторых, требуется подробное изучение корреляционных методов приема сигналов с обязательным описанием схемной реализации этих методов. При освоении курса технической кибернетики следует уделять большее внимание статистическим методам распознавания по различным критериям, не ограничиваясь байесовским подходом и подходом по Нейману – Пирсону. Такое наполнение курсов обеспечит необходимую подготовку студентов для проектирования и эксплуатации современных систем автоблокировки.

В заключение допустимо сделать вывод, что представленные в статье теоретические сведения позволяют

решать актуальные вопросы проектирования микропроцессорных приемников ТРЦ, подготовки соответствующих специалистов к решению этой задачи и поэтому имеют большое значение для работы конструкторских и учебных заведений железнодорожного транспорта.

Список литературы

1. Лисенков, В. М. Методы анализа и синтеза рельсовых цепей (статистический подход) / В. М. Лисенков. – М. : ВИНТИ РАН, 2014. – 202 с.
2. Кузьмин, С. З. Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации / С. З. Кузьмин. – М. : Радио и связь, 1986. – 351 с.
3. Проектирование радиолокационных приемных устройств / А. П. Голубков [и др.]; под ред. М. А. Соколова. – М. : Высшая школа, 1985. – 335 с.
4. Тихонов, В. М. Оптимальный прием сигналов / В. М. Тихонов. – М. : Радио и связь, 1983. – 320 с.
5. Горелик, А. Л. Методы распознавания / А. Л. Горелик, В. А. Скрипкин. – М. : Высшая школа, 1989. – 231 с.
6. Горяинов А. Г. Статистическая радиотехника: примеры и задачи / А. Г. Горяинов, А. Г. Журавлев, В. И. Тихонов. – М. : Сов. радио, 1980. – 543 с.
7. Иванов, М. Т. Радиотехнические цепи и сигналы / М. Т. Иванов, А. Б. Сергеев, В. Н. Ушаков. – СПб. : Питер, 2014. – 336 с.
8. Клюев, Л. Л. Теория электрической связи / Л. Л. Клюев. – Минск : Технопринт, 2008. – 429 с.
9. Горелов, Г. В. Каналообразующие устройства железнодорожной автоматики и связи / Г. В. Горелов, А. А. Волков, В. И. Шелухин. – М. : Транспорт, 1994. – 239 с.
10. Сергеев, А. Б. Цифровая обработка сигналов / А. Б. Сергеев. – СПб. : Питер, 2003. – 608 с.
11. Костромин, А. П. Защита устройств железнодорожной автоматики и телемеханики от помех / А. П. Костромин. – М. : Транспорт, 1997. – 192 с.
12. Бочков, К. А. Вероятностный метод определения уровня ЭМС микроэлектронных систем обеспечения безопасности / К. А. Бочков, Н. В. Рязанцева // Испытания систем железнодорожной автоматики и телемеханики на безопасность и электромагнитную совместимость : тр. Междунар. семинара / Белорус. гос. ун-т. трансп. – Гомель : БелГУТ, 2003. – С. 35–42.

Получено 15.06.2017

D. V. Komnatny Theoretical foundations of statistical signal processing algorithms in tone track circuits microprocessor receivers designing.

The aim of this article is foundations consideration of tone track circuits microprocessor receivers design, in which statistical methods of signal processing are realized. Likelihood functions and threshold calculation formulas for detector and correlator receivers of amplitude-modulated signals are adduced. These formulas allow to design algorithms and programs for resolve device of tone track circuit receivers. The methods of correlator receiver realization by digital electronics and gathering of ststistical information about track circuit noise are mentioned. The questions of specialists in the field of microprocessor block signaling development and maintenance training are discussed too.

УДК 622.23.08

И. С. ЕВДАСЕВ, кандидат технических наук, В. Н. ГАЛУШКО, кандидат технических наук, А. В. ДРОБОВ, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НЕТЯГОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Рассмотрен разработанный метод автоматического поиска рационального варианта электрических связей между трансформаторными подстанциями и распределительными устройствами с наименьшими приведенными затратами. Изменение схем питания узлов с целью их оптимизации позволяет снизить потери энергии без дополнительных затрат на модернизацию сети.

При учете электромагнитных процессов система нетягового электроснабжения железной дороги переменного тока представляет собой многомерный нелинейный динамический объект. Ввиду большой размерности, сложности и недостаточной информационной обеспеченности практическое использование динамических моделей систем нетягового электроснабжения на современном этапе не представляется возможным. Поэтому для определения режимов данных систем актуально использование имитационного моделирования.

Целью данной работы является разработка программы определения варианта организации электроснабжения нетяговых потребителей железнодорожного транспорта на основании метода статистических испытаний. Выбор наилучшего варианта осуществляется по критериям наименьших приведенных затрат и вероятности безотказной работы.

Ниже приведено описание трех разработанных программ, позволяющих выбрать наилучший вариант электроснабжения нетяговых потребителей железнодорожного транспорта.

1 Имитационная модель электроснабжения нетяговых потребителей железнодорожного транспорта.

Алгоритм ИМ электроснабжения нетяговых потребителей железнодорожного транспорта (ИМ УЗЛОВ) основан на поиске варианта организации электроснабжения нетяговых потребителей железнодорожного транспорта с наименьшими приведенными затратами с помощью метода статистических испытаний на основании матрицы возможных электрических связей между трансформаторными подстанциями. ИМ УЗЛОВ реали-

зовано в виде web-приложения, которое не требует установки на компьютер заказчика объемного программного обеспечения, обновление происходит автоматически, обеспечивается высокая мобильность везде, где есть доступ в интернет. Предусмотрен расчет для существующей сети, не предполагающий капитальные затраты на сооружение сети.

Алгоритм предписывает выполнить следующие действия:

Шаг 1. Внесение исходных данных:

– координаты точек расположения источника питания (ИП), распределительные устройства трансформаторных подстанций (РУ) и трансформаторных подстанций (ТП) ($x_i, y_i, i = \overline{1, n}$);

– сведения о всех ТП: номер или название ТП; P_p – расчетная активная нагрузка потребителя; $\cos \varphi_p$ – расчетный коэффициент мощности; категории потребителей; T_M – число часов использования максимума нагрузки в год; $U_{ном}$ – напряжение первичной обмотки трансформаторов; k_ϕ – коэффициент формы графика нагрузки участка сети.

Автоматически выполняются: визуализация расположения ИП, РУ и ТП на координатной сетке; масштабирование координатной сетки до размера окна программы и указание соответствующих текстовых подписей; масштабирование изображения ИП, РУ и ТП.

На рисунке 1 представлен расчет в ИМ УЗЛОВ однолинейной упрощенной схемы электросети для фидера № 502 ЭЧС-17 от ПС “Мясокомбинат” Витебской дистанции электроснабжения.

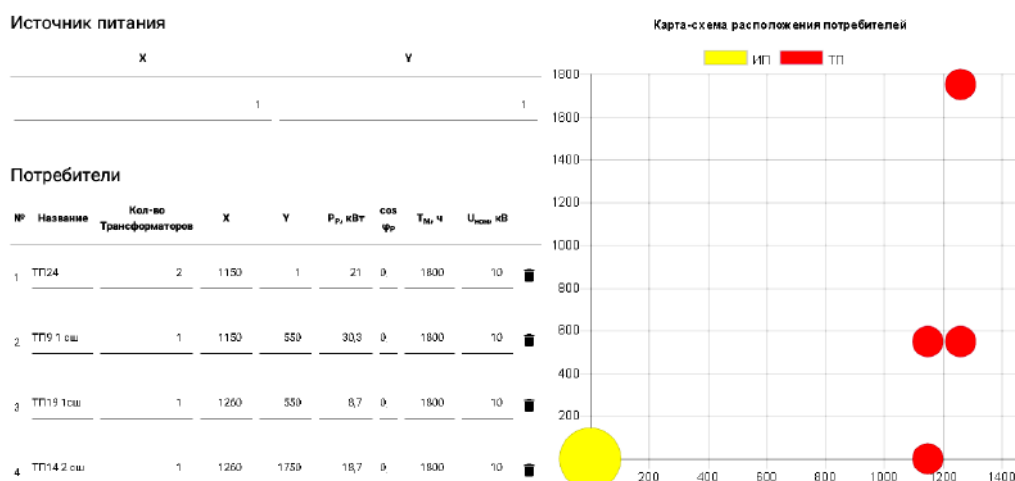


Рисунок 1 – Пример внесения исходных данных и визуализации в программе ИМ УЗЛОВ

Шаг 2. Отображение и заполнение матрицы связи между ТП и РУ. Данная процедура позволяет сформировать матрицу всех возможных соединений между ТП и РУ с учетом ограничений (рисунок 2, а) для розыгрыша различных вариантов методом статистических испытаний. Главная диагональ не используется, а выбор ТП или РУ разыгрывается с помощью генератора случайных чисел. Данную матрицу легко редактировать, активируя или убирав соответствующие символы связей между ТП или РУ.

Выполняется расчет кратчайших расстояний между всеми объектами по формуле $l_{ij} = \sqrt{x_i - x_j^2 + y_i - y_j^2}$; редактор позволяет также изменять расстояния в соответствии с существующими ограничениями. При необходимости определения кратчайшего расстояния между объектами с учетом ограничений на местности используется встроенная дополнительная программа LOGR.



Рисунок 2 – Пример заполнения матрицы связи между ТП (а) и выбора номинальной мощности, коэффициентов загрузки и расчета потерь в трансформаторах ТП, а также выбор сечения проводов кабелей (б)

Шаг 3. Выполняется расчет реактивной и полной мощности. Осуществляется выбор номинальной мощности трансформаторов на основании условий:

– в случае однотрансформаторных подстанций $S_{нт} \geq S_p$, $S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$;

– для двухтрансформаторных подстанций $2S_{нт} \geq S_p$, $1,4S_{нт} = S_p - S_{откл}$, где $S_{откл}$ – мощность потребителей III категории, которые могут быть отключены при возникновении аварийного режима.

Таблицы стандартных полных мощностей трансформаторов соответствуют номенклатуре выпускаемых и имеющихся в технологическом запасе отделений дистанций электроснабжения. При необходимости можно изменить значение номинальной мощности трансформатора в таблице текущих результатов расчетов (рисунок 2, б) или пополнить/изменить содержание таблиц стандартных полных мощностей выбираемых трансформаторов.

Рассчитываются коэффициенты загрузки трансформаторов в нормальном и аварийном режимах.

Определяются нагрузки на высокой стороне за счет добавления потерь в трансформаторах ТП.

Шаг 4. Указывается число реализаций N (разыгрываемых вариантов организации электроснабжения нетяговых потребителей железнодорожного транспорта), определяемое заранее на основании заданной точности имитации откликов модели по известным формулам [1].

Уточняется число наиболее эффективных вариантов (N') организации электроснабжения с наименьшими приведенными затратами, которые будут приводиться с полной детализацией расчетов и схем.

Шаг 5. Запуск имитационного эксперимента. Данный этап предполагает построение сети электроснабжения с использованием процедур определения конечных, промежуточных и узловых ТП, визуализацию реализованного варианта сети с цветовой индикацией соединительных линий между объектами.

Выполняется расчет и выбор сечения проводов кабелей по критерию допустимого нагрева с учетом коэффициентов, учитывающих фактическую температуру земли и воздуха, отличие удельной проводимости земли от принятой в таблицах ПУЭ и количество работающих кабелей, лежащих рядом в земле. Также указывается экономическая плотность тока и экономическая площадь поперечного сечения жил кабеля.

Таблицы стандартных марок и сечений кабелей соответствуют номенклатуре выпускаемых промышленностью и имеющихся в технологическом запасе отделений дистанции электроснабжения. При необходимости можно изменить предложенную программой марку и сечение кабеля или пополнить/изменить содержание таблиц стандартных марок и сечений кабелей.

Шаг 6. Осуществляется технико-экономический расчет и сохранение результатов первого варианта организации электроснабжения по критерию приведенных затрат $Z_1 = p_H K_1 + I_1$ с учетом капитальных затрат на сооружение сети и издержек на эксплуатацию.

Шаг 7. Реализуются последующие варианты организации системы электроснабжения с последующим повторением пунктов 6 и 7, сравнение их результатов по критерию приведенных затрат. Если $Z_r < Z_{min}$, то $Z_r \equiv Z_{min}$, а если $Z_r > Z_{min}$, то значение Z_r ранжируется по возрастанию со всеми результатами, из которых со-

хранятся детализированные результаты только N' наиболее эффективных вариантов. Результаты представляются в виде N' наиболее эффективных вариантов в порядке возрастания приведенных затрат.

2 Имитационная модель электросетей продольного электроснабжения и линий автоматической блокировки железнодорожных участков.

Алгоритм ИМ электроснабжения электросетей продольного электроснабжения и линий автоматической блокировки (АБ) железнодорожных участков (ИМ ПЭ) основан на поиске варианта организации электроснаб-

жения с наименьшей величиной технологического расхода электрической энергии на ее транспортировку с помощью метода статистических испытаний на основании рационального подбора электрооборудования. Результаты моделирования ИМ ПЭ являются исходными данными ИМ УЗЛОВ для рационального выбора головных трансформаторов линий ПЭ и АБ.

Расчет с помощью ИМ ПЭ позволяет достичь следующих результатов:

- визуализации расстановки потребителей на линии ПЭ или АБ с помощью координатной оси (рисунок 3);

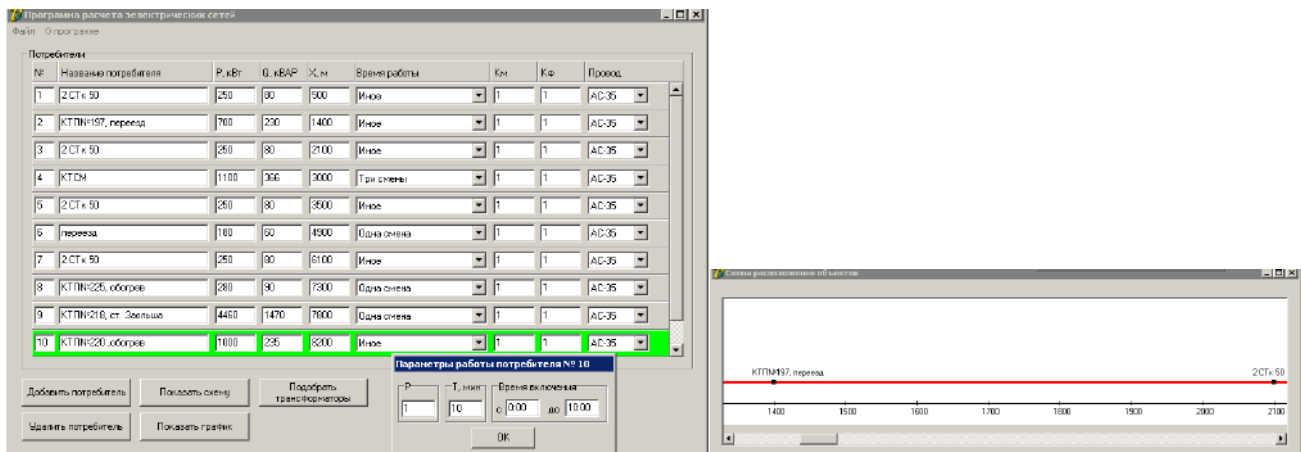


Рисунок 3 – Пример внесения исходных данных и визуализации расстановки потребителей на линии в программе ИМ ПЭ

- расчет полной мощности потребителя, на основании которой осуществляется выбор номинальной мощности трансформаторов и коэффициенты загрузки;
- расчет потерь ЭЭ в трансформаторах и линиях на основании ТКП 460-2012;
- потребление активной и реактивной ЭЭ за определенное время (по умолчанию принимается один год) для каждого потребителя с учетом количества рабочих смен в сутки потребителя;
- нагрузки на высокой стороне за счет добавления потерь в трансформаторах ТП;
- суммарные ТРЭТ в элементе (линии электропередачи, трансформаторе) электрической сети;
- расчет полной мощности линий продольного электроснабжения и автоматической блокировки;
- потери в головном трансформаторе, питающем линии ПЭ и АБ;
- распределение ТРЭТ между абонентами дистанции электроснабжения.

3 Имитационная модель оценки параметров надёжности электроснабжения нетяговых потребителей железнодорожного транспорта (ИМ НАДЕЖН).

Данная программа позволяет рассчитать вероятность безотказной работы ИМ ПЭ и N' наиболее эффективных вариантов ИМ УЗЛОВ. На основании полученной информации выявляются наиболее “узкие места” в различных вариантах схем электроснабжения, разрабатываются мероприятия по повышению надежности электроснабжения. Алгоритм ИМ НАДЕЖН предполагает следующие этапы:

- 1 На основании исходных данных составляется матрица надежности, предполагающая h объектов верхнего уровня ИМ НАДЕЖН и g нижнего. Для ИМ ПЭ в качестве исходных данных могут выступать питающий линию трансформатор ТП и потребители, для ИМ УЗЛОВ – фидер и ТП или РУ, для отдельных ТП – число трансформаторов ТП и подключенные к ним потребители (рисунок 4).

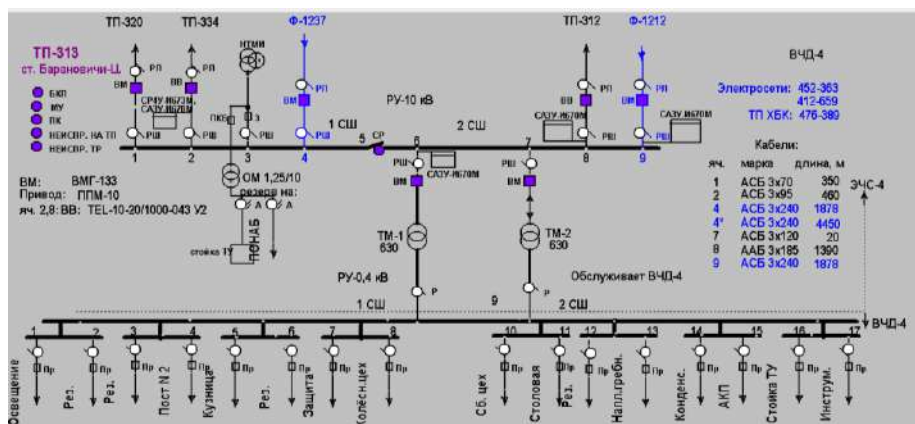


Рисунок 4 – АРМ Энергетика ТП-313 для фидера № 1212 ЭЧС-4 Барановичской дистанции электроснабжения

2 Заполняются соответствующие ячейки информацией о количестве элементов между объектами верхнего и нижнего уровней, а также о типах их соединения (последовательное, параллельное или сложное) и их наименовании.

3 Вносятся данные о интенсивности отказов всех элементов по имеющейся информации либо на основании разработанной библиотеки данных. Например, для трансформатора $\lambda = 0,035 \text{ год}^{-1}$, разъединителя шин – $0,08 \text{ год}^{-1}$, шин (10 м) – $0,001 \text{ год}^{-1}$ и т.д.

4 Указывается число реализаций имитационного эксперимента N , основанное на заданной точности имитации откликов модели.

5 Запускается имитационный эксперимент. На основании равномерного закона распределения генерируется для каждого элемента случайное число, в соответствии с которым разыгрывается отказ элемента.

6 Формируется выходной файл ИМ НАДЕЖН, содержащий информацию о вероятности безотказной работы для каждого приемника и для всей системы. Например, для ТП-313 от фидера № 1212 ЭЧС-4 Барановичской дистанции электроснабжения при $N = 1000$ модельных экспериментах вероятность безотказной работы составила 0,969306, а при аналитическом расчете – 0,969, что указывает на приемлемую точность результатов.

Статистическая проверка адекватности математической модели ИМ УЗЛОВ.

Проверка адекватности результатов программы и аналитического расчета активной и реактивной мощностей проводилась на шаге расчета, соответствующего выбору полной мощности трансформаторов, для фидера № 206 ЭЧС-16 Витебской дистанции электроснабжения. Статистические оценки параметров распределения случайной величины: несмещенная оценка дисперсии $S^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^r N_j (\Delta u_j - \bar{\Delta u})^2$.

Для проверки *непротиворечивости* применялся критерий согласия Пирсона χ^2 . Вычисленное χ^2 сравнивалось с табличным $\chi_{\alpha=0,05, v=4-2-1}^2 = 3,841$.

Для оценки систематической ошибки проверялась гипотеза о равенстве нулю математического ожидания расхождения с помощью критерия Фишера, для чего вычислялась статистика $|t|$, которая сравнивалась с $t_{\text{крит}}(1-\alpha, N-1)$ при уровне значимости 0,05 $|t| = 0,8 < t_{\text{крит}} = 1,74$.

Для оценки *точности* модели рассчитывался радиус доверительного интервала, который не превосходит допустимой погрешности $\left(\frac{\bar{\Delta u}}{s} \sqrt{N} = 0,8 \leq \delta \right)$.

Таким образом, можно сформулировать следующие выводы:

Получено 01.09.2017

I. S. Evdasev, V. N. Galushko, A. V. Drovov, Modeling of the electrical supply system of nontyagovy consumers-ray of railway transport.

For electric networks of railway nodes of power supply distances, a method of automatic search for a rational version of electrical connections between transformer substations and distribution devices with the least reduced costs has been developed. Changing the power schemes of the nodes in order to optimize them allows to reduce energy losses without additional costs for network modernization.

– результаты ИМ УЗЛОВ можно считать не противоречащими аналитическому расчету;

– критерий Фишера указывает на отсутствие в ИМ УЗЛОВ систематической погрешности;

– радиус доверительного интервала не превосходит допустимой погрешности.

Все пункты проверки расчета мощностей указывают на адекватность имитационной модели ИМ УЗЛОВ.

Для расчетного тока при выборе сечений линий результаты составили: $\bar{\Delta u} = 0,0017$; $s = 0,0011$, что указывает на достаточную точность расчета токов.

С помощью разработанной программы ИМ УЗЛОВ определяется N' наиболее эффективных вариантов организации электроснабжения нетяговых потребителей железнодорожного транспорта с наименьшими приведенными затратами на основании матрицы возможных электрических связей между трансформаторными подстанциями. ИМ ПЭ позволяет найти вариант организации электроснабжения с наименьшей величиной ТРЭТ с помощью метода статистических испытаний на основании рационального подбора оборудования. ИМ ПЭ используется для правильного выбора трансформаторов, кабельных или воздушных линий для ИМ УЗЛОВ. ИМ НАДЕЖН позволяет оценивать вероятность безотказной работы всей системы на основании данных о интенсивности отказов оборудования. Эта программа позволяет рассчитать вероятность безотказной работы ИМ ПЭ и N' наиболее эффективных вариантов ИМ УЗЛОВ. На основании полученной информации выявляются наиболее “узкие места” в различных вариантах схем электроснабжения, разрабатываются мероприятия по повышению надежности электроснабжения.

Результаты ИМ УЗЛОВ, ИМ ПЭ и ИМ НАДЕЖН являются исходной информацией для оценки наиболее эффективных решений с использованием весовых коэффициентов важности. Весовые коэффициенты могут быть определены с помощью регрессионного анализа или экспертного метода опроса.

Для Витебского узла с помощью представленных программ была определена схема питания потребителей, которая обеспечивает снижение потерь мощности в линиях 6–10 кВ на 10–11 %.

Список литературы

1 **Галушко, В. Н.** Математические модели в транспортных системах : учеб.-метод. пособие / В. Н. Галушко. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 154 с.

2 **Крюков, А. В.** Электрические сети районов электроснабжения нетяговых потребителей железнодорожного транспорта : учеб. пособие / А. В. Крюков. – Иркутск : ИрГУПС, 2008. – 55 с.

ВЕРОЯТНОСТЬ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО НАКОПЛЕНИЯ ОТКАЗОВ ПРИ РЕГУЛЯРНОМ ТЕСТИРОВАНИИ ОБЪЕКТА

Рассмотрена случайная величина, равная времени до последовательного наступления двух событий (отказов) при условии гарантированного обнаружения отказов в ходе регулярного тестирования системы. Определена функция распределения этой несобственной случайной величины. Предложенная модель может использоваться при количественном анализе надежности систем, в которых наступление двух отказов в зависимости от их последовательности переводит систему в защитное или опасное состояние.

Концепция безопасности современных систем управления ответственными технологическими процессами (например, систем железнодорожной автоматики и телемеханики) предусматривает, что все одиночные отказы элементов не должны переводить систему в опасное состояние и должны обнаруживаться на рабочих или тестовых воздействиях не позднее чем в системе возникнет следующий отказ [1].

Поскольку предотвратить появление кратных отказов в системах невозможно, их анализу (в том числе с учетом периодического тестирования систем) посвящено множество публикаций последних лет. При этом обычно считается, что любой кратный отказ – опасный. Такое допущение упрощает модель надежности, но значительно занижает значения показателей безопасности функционирования по сравнению с неизвестными истинными значениями. В особенности такое допущение неадекватно для систем, в которых наступление двух отказов, произошедших в одной последовательности (A_2, A_1) , переводит систему в защитное состояние, а в иной последовательности (A_1, A_2) – в опасное состояние.

В связи с этим представляет научный и практический интерес определение вероятности безопасного функционирования систем, подверженных накапливающимся в определенной последовательности отказам с учетом тестирования, которое в компьютерных системах выполняется (обычно) через равные интервалы времени.

Постановка задачи. Рассматривается абстрактная техническая система, подверженная двум независимым отказам: A_1 и A_2 . В случае, когда данные отказы происходят в последовательности A_1, A_2 , система переходит в опасное состояние; в противном случае A_2, A_1 – в защитное состояние.

Наряду с отказами в системе предусмотрено тестирование. Интервал времени между тестированиями есть константа T , которая много меньше средней наработки системы между отказами. Предполагается, что в процессе тестирования, а также после перехода в защитное состояние все отказы обнаруживаются наверняка, после чего система полностью восстанавливает свой ресурс.

Рассмотрим пространство элементарных исходов $\Omega = \{\omega = (t_1, t_2) | 0 < t_1 < \infty, 0 < t_2 < \infty\}$, где определены две независимые непрерывные положительно распределенные случайные величины $\xi_i = t_i$, характеризующие время до наступления i -го отказа ($i = 1, 2$), с функциями распределения

$$F_i(x) = P\{\xi_i < x\} = \int_{-\infty}^x f_i(y) dy, \quad i = \overline{1, 2}.$$

Предположим, что каждый из двух отказов обнаруживается (в процессе тестирования) наверняка, интервал времени между тестированиями равен константе T , которая много меньше средней наработки до каждого из двух возможных отказов:

$$T \ll M[\xi_i], \quad i = \overline{1, 2}.$$

Тогда величина τ – время до обнаружения первого отказа (из двух) практически подчиняется равномерному распределению на интервале $(0, T)$ с функцией плотности распределения [2, с. 156]

$$f_\tau(x) = \begin{cases} \frac{1}{T}, & 0 < x < T; \\ 0, & x \notin (0, T) \end{cases}$$

Определим третью случайную величину η – время наработки системы до опасного отказа:

$$\eta = \begin{cases} \xi_2, & \text{если } 0 < \xi_2 - \xi_1 < \tau; \\ \infty, & \text{если } \xi_1 \geq \xi_2, \end{cases} \quad (1)$$

которая является несобственной случайной величиной, т. к. с ненулевой вероятностью она принимает бесконечное значение, а ее функция распределения не стремится к единице при $x \rightarrow \infty$.

Поставим задачу определения функции распределения величины η :

$$F(x) = P\{\eta < x\} = \begin{cases} P\{\xi_2 < x\}, & \text{если } 0 < \xi_2 - \xi_1 < \tau; \\ 0, & \text{если } \xi_1 \geq \xi_2. \end{cases}$$

Решение задачи. Рассмотрим функцию плотности распределения величины η :

$$f_\eta(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{P\{\xi_2 < x + \Delta x \text{ и } \xi_2 - \xi_1 < \tau\}}{\Delta x}$$

Выразим событие $\{\xi_2 < x + \Delta x \text{ и } \xi_2 - \xi_1 < \tau\}$ (исходы, благоприятные данному событию, показаны на рисунке 1 штриховкой) следующим образом:

$$\begin{aligned} & \{\xi_2 < x + \Delta x \text{ и } \xi_2 - \xi_1 < \tau\} \\ &= \left(\{\xi_2 < x + \Delta x \text{ и } \xi_1 - \tau < \xi_1 < x\} \right) \cup \\ & \cup \left(\{\xi_2 < x + \Delta x \text{ и } \xi_1 - \tau < \xi_1 < \xi_2 - \tau\} \right) \cup \\ & \cup \left(\{\xi_2 < x + \Delta x \text{ и } \xi_1 < \xi_2\} \right) \setminus B \cup C. \end{aligned}$$

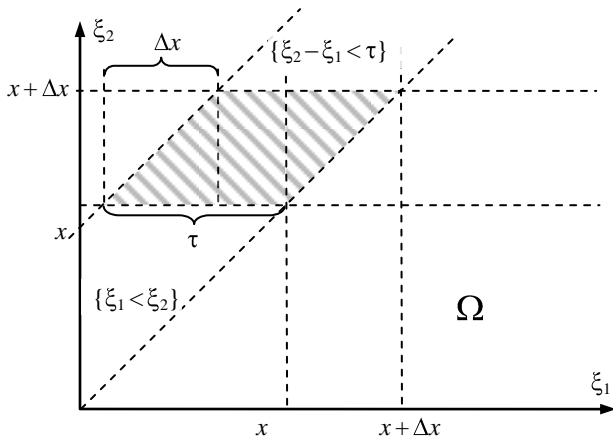


Рисунок 1 – Демонстрация события $\xi_1 < \xi_2 < x + \Delta x$ и $\theta < \xi_2 - \xi_1 < \tau$.

Учитывая, что событие $B \subset A$ (см. рисунок 1), а события $(A \setminus B)$ и C несовместны:

$$\begin{aligned}
 f_{\eta} & \stackrel{\text{def}}{=} \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{P\{\xi_1 < \xi_2 < x + \Delta x \text{ и } \theta < \xi_2 - \xi_1 < \tau\}}{\Delta x} \\
 & = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{P\{\xi_1 < \xi_2 < x + \Delta x \text{ и } \xi_1 - \tau < \xi_1 < x\}}{\Delta x} \\
 & - \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{P\{\xi_1 < \xi_2 < x + \Delta x \text{ и } \xi_1 - \tau < \xi_1 < \xi_2 - \tau\}}{\Delta x} + \\
 & + \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{P\{\xi_1 < \xi_2 < x + \Delta x \text{ и } \xi_1 < \xi_2\}}{\Delta x}. \quad (2)
 \end{aligned}$$

Рассмотрим по отдельности каждое слагаемое в выражении (2), учитывая, что величины ξ_1 и ξ_2 независимы и абсолютно непрерывные:

$$\begin{aligned}
 & \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{P\{\xi_1 < \xi_2 < x + \Delta x \text{ и } \xi_1 - \tau < \xi_1 < x\}}{\Delta x} \\
 & = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{P\{\xi_2 < x + \Delta x\} P\{-\tau < \xi_1 < x\}}{\Delta x} \\
 & = P\{-\tau < \xi_1 < x\} \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{P\{\xi_2 < x + \Delta x\}}{\Delta x} = \\
 & = P\{-\tau < \xi_1 < x\} f_2(x); \\
 & \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{P\{\xi_1 < \xi_2 < x + \Delta x \text{ и } \xi_1 - \tau < \xi_1 < \xi_2 - \tau\}}{\Delta x} \\
 & \leq \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{P\{\xi_1 < \xi_2 < x + \Delta x \text{ и } \xi_1 - \tau < \xi_1 < x - \tau + \Delta x\}}{\Delta x} \\
 & = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{P\{\xi_2 < x + \Delta x\}}{\Delta x} \cdot \lim_{\Delta x \rightarrow 0} P\{-\tau < \xi_1 < x - \tau + \Delta x\} = \\
 & = f_2(x) \cdot 0 = 0; \\
 & \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{P\{\xi_1 < \xi_2 < x + \Delta x \text{ и } \xi_1 < \xi_2\}}{\Delta x} \\
 & \leq \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{P\{\xi_1 < \xi_2 < x + \Delta x \text{ и } \xi_1 < x + \Delta x\}}{\Delta x} \\
 & = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{P\{\xi_2 < x + \Delta x\}}{\Delta x} \cdot \lim_{\Delta x \rightarrow 0} P\{\xi_1 < x + \Delta x\} = \\
 & = f_2(x) \cdot 0 = 0.
 \end{aligned}$$

Таким образом, выражение (2) упрощается, и функция плотности распределения величины η определяется выражением

$$f_{\eta}(x) \stackrel{\text{def}}{=} P\{-\tau < \xi_1 < x\} f_2(x). \quad (3)$$

Первый множитель в выражении (3) выразим по формуле полной вероятности, рассматривая в качестве гипотез все возможные значения величины $\tau \in (0, T)$ с вероятностями $f_{\tau}(y) dy$:

$$\begin{aligned}
 P\{-\tau < \xi_1 < x\} & \stackrel{\text{def}}{=} \int_0^T f_{\tau}(y) P\{-\tau < \xi_1 < x\} dy = \\
 & = \frac{1}{T} \int_0^T P\{-y < \xi_1 < x\} dy = \frac{1}{T} \int_0^T F_1(x-y) dy = \\
 & = \frac{1}{T} \int_0^T F_1(x) dy - \frac{1}{T} \int_0^T F_1(x-y) dy = \\
 & = \frac{F_1(x)}{T} \int_0^T dy - \frac{1}{T} \int_0^T F_1(x-y) dy = \\
 & = F_1(x) - \frac{1}{T} \int_0^T F_1(x-y) dy.
 \end{aligned}$$

Подставляя полученную вероятность в выражение (3), получим

$$f_{\eta}(x) \stackrel{\text{def}}{=} F_1(x) f_2(x) - \frac{f_2(x)}{T} \int_0^T F_1(x-y) dy.$$

Следовательно, функция распределения величины η – времени наработки системы до опасного отказа (функция опасного отказа)

$$F(x) \stackrel{\text{def}}{=} \int_0^x F_1(z) f_2(z) dz - \int_0^x \frac{f_2(z)}{T} \int_0^T F_1(z-z) dz dz. \quad (4)$$

Примечательно, что если тестирование в системе не предусматривается (т. е. $T \rightarrow \infty$), то функция распределения времени наработки системы до опасного отказа определяется выражением

$$F(x) \stackrel{\text{def}}{=} \int_0^x F_1(z) f_2(z) dz,$$

полученным ранее в статье [3].

Пример. Рассмотрим систему пожаротушения здания. Определим события: $A_1 = \{\text{отказ системы пожаротушения}\}$, $A_2 = \{\text{появление источника возгорания}\}$, $B = \{\text{пожар}\}$. Пусть случайная величина ξ_1 – время до наступления события A_1 – подчиняется распределению Вейбулла – Гнеденко с функцией

$$F_1(x) = P\{\xi_1 < x\} = \begin{cases} 1 - \exp\left(-\left(\frac{x}{20}\right)^3\right), & x > 0, \\ 0, & x \leq 0, \end{cases}$$

а ξ_2 – время до наступления события A_2 – распределено экспоненциально с функцией

$$F_2(x) = P\{\xi_2 < x\} = \begin{cases} 1 - \exp\left(-\frac{x}{12}\right), & x > 0. \\ 0, & x \leq 0. \end{cases}$$

Пусть периодичность контроля технического состояния системы пожаротушения составляет $T = 12$ мес.

Очевидно, что событие B наступает одновременно с событием A_2 , если перед ним уже произошло событие A_1 . В противном случае событие B не происходит никогда. Тогда время до наступления события B определяется случайной величиной η и выражением (1), а ее функция распределения $F(x)$ – выражением (4).

Основные числовые характеристики случайной величины η представлены в таблице 1, а график функции распределения – на рисунке 2.

Таблица 1 – Основные числовые характеристики рассматриваемых величин

Наименование	ξ_1	ξ_2	η , мес.		
			$T=12$	$T=24$	$T \rightarrow \infty$
Математическое ожидание, мес.	17,86	12	–	–	–
Стандартное отклонение, мес.	6,491	12	–	–	–
Квантиль уровня 0,01, мес.	4,316	0,121	9,717	9,447	9,221
Квантиль уровня 0,02, мес.	5,447	0,242	12,291	11,807	11,427
Квантиль уровня 0,05, мес.	7,431	0,616	17,952	16,529	15,632
Квантиль уровня 0,1, мес.	9,446	1,264	–	23,452	20,867
Медиана, мес.	17,7	8,318	–	–	–
$\lim_{x \rightarrow \infty} F(x)$	1	1	0,096	0,148	0,26

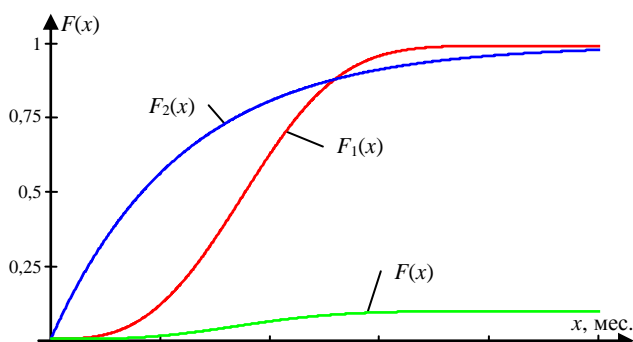


Рисунок 2 – Функции распределения величин ξ_1 , ξ_2 и η (для $T=12$ мес.)

Получено 13.09.2017

D. N. Shevchenko. The probability of successive accumulation of failures with regular testing of an object.

We consider a random variable equal to the time before the occurrence of two consecutive events (failures) takes place subject to a guaranteed failure detection during routine testing of the system. The distribution function of the improper random variable is determined. The proposed model can be used in the quantitative analysis of reliability of systems in which two offensive failures, depending on their sequence the system into a protective or hazardous state.

На рисунке 3 представлены графики функции распределения величины η для различных значений T – интервалов времени между тестированием системы.

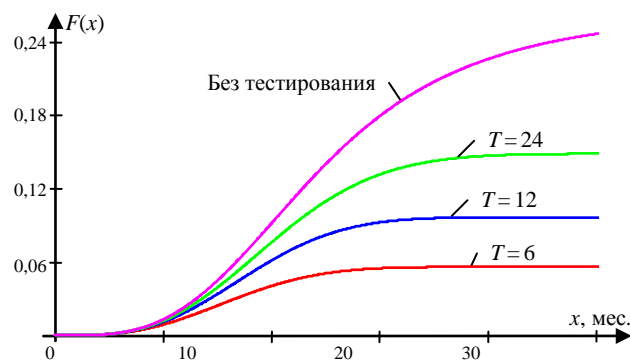


Рисунок 3 – Функция распределения величины η для различных интервалов времени между тестированием

Заключение. В статье показан способ вычисления функции распределения времени до последовательного наступления двух отказов системы по известным функциям распределения времени до наступления каждого из них с учетом гарантированного обнаружения отказов в ходе периодического тестирования.

Подобная модель применима для количественного анализа безопасности функционирования систем, кратные отказы которых переводят систему в опасное состояние только при наступлении в строго определенной последовательности.

Кроме того подобная модель применима для анализа деревьев отказов с причинно-следственными связями «приоритетное И», которые учитывают последовательность отказов и других воздействий на объект.

Список литературы

- 1 Острейковский, В. А. Теория надежности : учеб. для вузов / В. А. Острейковский. – М. : Высш. шк., 2003. – 463 с.
- 2 Вентцель, Е. С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения : учеб. пособие для вузов / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – 2-е изд., стер. – М. : Высш. шк., 2000. – 480 с.
- 3 Шевченко, Д. Н. Анализ динамического дерева отказов / Д. Н. Шевченко // Электромагнитная совместимость и безопасность на железнодорожном транспорте. – 2011. – № 2. – Д. : Изд-во ДНУЖТ, 2011. – С. 142–148.

УДК 656.2.08

П. М. БУЙ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель,
С. Г. КУЛЬГАВИК, инженер, Барановичская дистанция сигнализации и связи

МЕТОДИКА ПЕРЕКРЕСТНОЙ ОЦЕНКИ УГРОЗ И УЯЗВИМОСТЕЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ИНФОРМАТИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Обоснована необходимость обеспечения как информационной, так и функциональной безопасности объектов информатизации железнодорожного транспорта. Даны понятия угрозы и уязвимости безопасности объекта информатизации, а также индивидуальные подходы к оценке их опасности. Предложен совокупный подход для оценки опасности угроз и уязвимостей. Приведены необходимые критерии и система выставления экспертами баллов. Представлена методика перекрестной оценки угроз и уязвимостей объектов информатизации железнодорожного транспорта.

Для Республики Беларусь железнодорожный комплекс имеет особое стратегическое значение, являясь связующим звеном единой экономической системы и обеспечивая стабильную деятельность промышленных предприятий. Кроме того, это еще и самый доступный вид транспорта для граждан республики. Все это способствует тому, что Белорусская железная дорога обязана обеспечить потребности государства, юридических и физических лиц в железнодорожных перевозках, а также работах и услугах, оказываемых железнодорожным транспортом.

В рамках стремительной информатизации и компьютеризации общества Белорусская железная дорога не в состоянии качественно выполнять поставленные перед ней задачи, не прогрессируя вместе с обществом. Внедрение передовых и вместе с тем надежных технологий по ее информатизации является одной из первостепенных задач.

Вместе с тем процессы информатизации и компьютеризации, а также использование современных сетевых технологий при организации управления на Белорусской железной дороге таят в себе множество потенциальных опасностей, область реализации которых касается исключительно сферы высоких технологий. При отсутствии адекватной системы защиты опасности такого рода могут привести к нарушению штатной работы систем управления и, как следствие, ухудшению уровня безопасности грузо- и пассажироперевозок.

В таких условиях обязательным является проведение анализа этих опасностей, характерных как для самих объектов информатизации, так и для среды их функционирования.

Объект информатизации, согласно [1] – это средства электронной вычислительной техники (автоматизированные системы различного уровня и назначения, вычислительные сети и центры, автономные стационарные и персональные электронные вычислительные машины, а также копировально-множительные средства, в которых для обработки информации применяются цифровые методы) вместе с программным обеспечением, которые используются для обработки информации.

В системах железнодорожного транспорта довольно часто объекты информатизации используются не только для обработки информации, но и для организации автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП), в ряде из которых может отсутствовать информация, подлежащая защите.

Безопасность объекта информатизации – это защищенность такого объекта от случайного или преднамеренного вмешательства в штатный процесс его функционирования. В общем случае речь идет о функциональной безопасности объекта информатизации, когда важным является выполнение объектом поставленных перед ним задач. Если же эти задачи связаны с хранением и обработкой информации, предоставление и/или распространение которой ограничено, то в этом случае речь идет об информационной безопасности, для которой важным является защита информации от попыток хищения, изменения или разрушения компонентов объекта информатизации.

Функциональная безопасность – это совокупность таких условий функционирования объекта информатизации, при которых предотвращаются или минимизируются последствия от внешних или внутренних деструктивных воздействий, приводящих к нарушению процесса штатного его функционирования.

Именно нарушение функциональной безопасности становится более опасным для систем управления на железнодорожном транспорте. Информационная безопасность, безусловно, так же важна, но при отсутствии у объекта информатизации информации, предоставление которой должно быть ограничено, мероприятия по обеспечению информационной безопасности фактически сводятся к функциям разграничения доступа и контроля выполняемых пользователем операций на этом объекте.

В реальной среде функционирования любого объекта информатизации независимо от него существует множество угроз его безопасности. Угроза безопасности объекта – возможное воздействие на объект, которое прямо или косвенно может нанести ущерб его безопасности. Следует разделять угрозы функциональной и информационной безопасности исходя из функций объекта информатизации, на которые они нацелены.

Совокупность всех угроз $T = \{T_1, T_2, \dots, T_m\}$ (от англ. *threat*), которые в той или иной степени могут нанести ущерб безопасности объекта, формируют реальную среду его функционирования. Именно на такое функционирование следует рассчитывать при эксплуатации объекта информатизации. Любая угроза не может существовать сама по себе – у нее должен быть источник.

Источники угрозы – это потенциальные антропогенные, техногенные или стихийные носители угрозы без-

опасности. Таким образом, источником угрозы могут являться [2]:

- субъекты, потенциальные неумышленные или преднамеренные действия которых могут нанести ущерб функциональной или информационной безопасности объекта;

- технические средства – аппаратные, программные или аппаратно-программные средства и комплексы, отказы которых или наличие в их реализации логических ошибок может привести к нарушению безопасности объекта информатизации;

- стихийные явления – стихийные бедствия, частично или полностью препятствующие функционированию объекта информатизации.

Оптимальным методом оценки угроз является метод экспертных оценок, при котором экспертам предлагается оценить возможность реализации некоторого перечня угроз. В качестве критериев оценки опасности конкретной угрозы, согласно [3], можно выбрать возможность возникновения источника угрозы (K_1), степень его готовности произвести атаку (K_2), а также фатальность для объекта от реализации угрозы (K_3). Коэффициент опасности угрозы вычисляется на основании баллов, выставленных экспертом по трем критериям от 1 до 10, по следующей формуле:

$$K_{\text{оп.уг}} = \frac{K_1 K_2 K_3}{10^3}. \quad (1)$$

Для N экспертов общий коэффициент опасности угрозы вычисляется как произведение средних баллов, выставленных экспертами по каждому критерию:

$$K_{\text{оп.уг}N} = \frac{\sum_{i=1}^N K_{1i} \cdot \sum_{i=1}^N K_{2i} \cdot \sum_{i=1}^N K_{3i}}{(10N)^3}, \quad (2)$$

где K_{1i} , K_{2i} , K_{3i} – баллы, выставленные i -м экспертом трем указанным выше критериям соответственно.

При таком расчете максимальное значение коэффициента опасности угрозы при выставлении экспертами максимальных баллов по всем критериям будет равно единице. Анализируя коэффициенты опасности совокупности угроз, можно произвести их ранжирование и определить для конкретного объекта информатизации перечень наиболее опасных.

Сами по себе угрозы не опасны для объекта информатизации. Сосуществуя совместно с ним, угрозы могут вовсе не причинять ущерба его безопасности. Опасность для объекта информатизации представляют только те угрозы, для которых объект информатизации является уязвимым, или, иными словами, обладает определенными уязвимостями, через которые источники угроз могут реализовать свои угрозы и нанести ущерб данному объекту.

Уязвимость объекта – это присущие объекту причины, приводящие к нарушению безопасности его функционирования или безопасности информации на объекте.

Совокупность уязвимостей объекта информатизации $V = \{V_1, V_2, \dots, V_k\}$ (от англ. *vulnerability*) ограничивает сферу его эксплуатации и режимы функционирования. Максимально полное представление об уязвимостях объекта информатизации позволяет применить адекватные меры по их минимизации и, тем самым, устранить возможные последствия от воздействия угроз.

В качестве критериев оценки опасности уязвимости источник [3] предлагает: фатальность наличия у объекта информатизации уязвимости (K_4), доступность уязвимости для источников угроз (K_5), а также количество уязвимостей на объекте или частота их появления (K_6). Аналогично с процессом оценки опасности угроз один или N экспертов выставляют баллы от 1 до 10 по каждому из критериев. Для одного эксперта коэффициент опасности уязвимости вычисляется по схожей с (1) формулой:

$$K_{\text{оп.уяз}} = \frac{K_4 K_5 K_6}{10^3}. \quad (3)$$

Для N независимых экспертов расчет общего коэффициента опасности уязвимости производится аналогично формуле (2):

$$K_{\text{оп.уяз}N} = \frac{\sum_{i=1}^N K_{4i} \cdot \sum_{i=1}^N K_{5i} \cdot \sum_{i=1}^N K_{6i}}{(10N)^3}. \quad (4)$$

Анализируя коэффициенты опасности совокупности уязвимостей, можно произвести их ранжирование и определить те из них, устранением которых необходимо заняться в первую очередь.

При наличии множества уязвимостей объекта информатизации и множества угроз его безопасности в реальных условиях функционирования велика вероятность реализации одной из угроз, нацеленной на процесс функционирования объекта или безопасность информации, которая в нем используется.

Атака – это возможные последствия реализации угрозы при взаимодействии источника угрозы через имеющуюся уязвимость. Таким образом, атака – это обязательное сочетание угрозы, реализуемой источником угрозы, и уязвимости, которое приводит к нарушению функциональной или информационной безопасности объекта информатизации (рисунок 1).

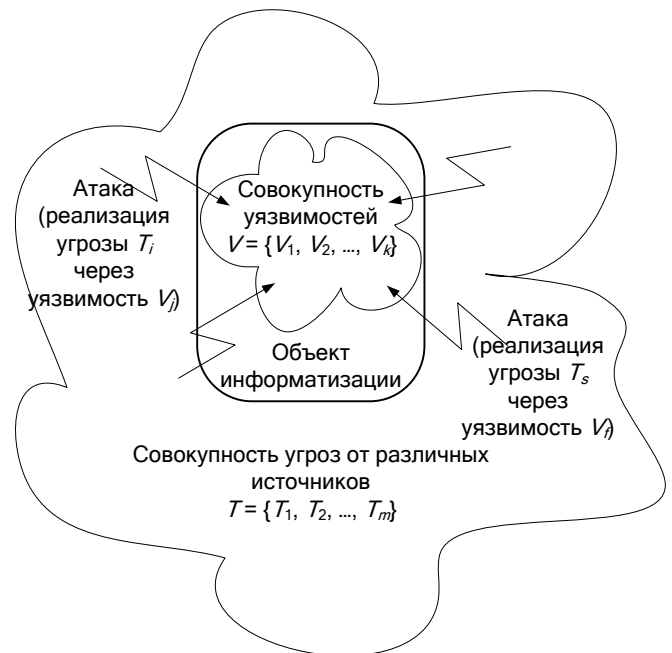


Рисунок 1 – Совокупности угроз и уязвимостей безопасности объекта информатизации

Для защиты объектов информатизации от атак разрабатываются специальные мероприятия по обеспечению их безопасности, часть из которых обеспечивает их надежное функционирование в условиях воздействия угроз, часть направлено на обеспечение информационной безопасности, т. е. сохранению таких свойств защищаемой информации, как конфиденциальность, доступность и целостность.

Учитывая многообразие угроз современного информационного мира, построить абсолютно адекватную систему защиты не представляется возможным, ведь затраты на ее организацию и сопровождение не должны превышать предполагаемый ущерб от ее нарушения в результате реализации угроз. Таким образом, необходимо выбрать методiku, которая позволит выбрать наиболее опасные для исследуемого объекта информатизации угрозы и защищаться только от них. Также важным является определение наиболее опасных для объекта информатизации уязвимостей, устранение которых позволит существенно повысить уровень безопасности объекта.

Существующие методы ранжирования угроз и уязвимостей производят их оценку независимо друг от друга [3]. Однако, как было указано выше, угрозы не представляют опасности для объекта без наличия соответствующих им уязвимостей. Также и уязвимости не подрыывают уровень безопасности объекта, если нет угроз, которые могут ими воспользоваться. Следовательно, оценку угроз и уязвимостей следует производить совокупно, оценивая критерии опасности угрозы и уязвимости исходя из того, что первая будет реализована через вторую. При этом следует использовать подкорректированные критерии, соответствующие указанной совокупной оценке «угроза – уязвимость»:

- критерий C_1 (от англ. *Criterion*) – возможность возникновения источника угрозы в достаточном окружении от объекта информатизации для реализации угрозы через уязвимость;

- критерий C_2 – степень готовности источника угрозы воспользоваться уязвимостью объекта информатизации и реализовать угрозу;

- критерий C_3 – распространенность уязвимости по объекту информатизации или частота ее появления;

- критерий C_4 – доступность уязвимости для реализации угрозы ее источником;

- критерий C_5 – фатальность от реализации угрозы источником угрозы через уязвимость объекта информатизации.

Все критерии оцениваются экспертами по десятибалльной шкале (дискретно от 1 до 10). Принцип выставления баллов для первых четырех критериев прост: чем в большей степени появляется критерий, тем большего балла он заслуживает. Критерии C_1 и C_2 в паре «угроза – уязвимость» в большей степени имеют отношение к угрозе, а критерии C_3 и C_4 – к уязвимости. Критерий C_5 в одинаковой степени зависит как от угрозы, так и от уязвимости, и для него целесообразно использовать более конкретизированную систему оценивания.

При оценке фатальности от реализации угрозы для объектов информатизации железнодорожного транспорта, специфика которых была указана выше, важно не только принимать во внимание нарушение информационной безопасности, но также учитывать и функциональную безопасность. Ниже представлены баллы и со-

ответствующие им уровни нарушения безопасности объектов информатизации исходя из соображений первостепенной важности обеспечения функциональной безопасности для объектов железнодорожного транспорта:

1 – нарушение доступности информации объекта информатизации, не приведшее к нарушению его функциональной безопасности;

2 – нарушение конфиденциальности или целостности информации объекта информатизации, не приведшее к нарушению его функциональной безопасности;

3 – нарушение конфиденциальности и целостности информации объекта информатизации, не приведшее к нарушению его функциональной безопасности;

4 – нарушение конфиденциальности, целостности и доступности информации объекта информатизации, не приведшее к нарушению его функциональной безопасности;

5 – частичное нарушение функциональной безопасности объекта информатизации;

6 – нарушение доступности информации объекта информатизации, сопровождающееся частичным нарушением его функциональной безопасности;

7 – нарушение конфиденциальности или целостности информации объекта информатизации, сопровождающееся частичным нарушением его функциональной безопасности;

8 – нарушение конфиденциальности и целостности информации объекта информатизации, сопровождающееся частичным нарушением его функциональной безопасности;

9 – нарушение конфиденциальности, целостности и доступности информации объекта информатизации, сопровождающееся частичным нарушением его функциональной безопасности;

10 – нарушение функциональной безопасности объекта информатизации – полный его выход из строя.

При таком подходе оценивается опасность реализации угрозы через уязвимость объекта информатизации. Общий коэффициент опасности реализации угрозы через уязвимость ($K_{\text{оп.угр.язв}}$) оценивается N экспертами по следующей формуле:

$$K_{\text{оп.угр.язв}} = \frac{\sum_{i=1}^N C_{1i} \cdot \sum_{i=1}^N C_{2i} \cdot \sum_{i=1}^N C_{3i} \cdot \sum_{i=1}^N C_{4i} \cdot \sum_{i=1}^N C_{5i}}{(10N)^5}. \quad (5)$$

В реальных условиях функционирования одна и та же уязвимость безопасности объекта информатизации может стать причиной реализации сразу нескольких угроз. На рисунке 2 такими уязвимостями из множества уязвимостей V являются уязвимости V_1 и V_k . Вместе с тем одна и та же угроза может быть реализована через разные уязвимости. На рисунке 2 угроза T_4 может быть реализована через уязвимости V_2 и V_3 , а T_5 – через V_4 и V_k .

Для перекрестной оценки опасности угроз и уязвимостей в таких условиях необходимо учитывать все сочетания пар «угроза – уязвимость», для которых были проведены индивидуальные оценки по формуле (5).

Оценка опасности угрозы, которая может быть реализована через S уязвимостей, каждая из которых по отдельности была оценена группой из N экспертов по методике, указанной выше, рассчитывается следующим образом:

$$K_{\text{оп.угрNS}} = \frac{\sum_{j=1}^S \sum_{i=1}^N C_{1ij} \cdot \sum_{j=1}^S \sum_{i=1}^N C_{2ij}}{(10NS)^2} \times \frac{\sum_{j=1}^S \sum_{i=1}^N C_{3ij} \cdot \sum_{j=1}^S \sum_{i=1}^N C_{4ij} \cdot \max_{j=1..S} (\sum_{i=1}^N C_{5ij})}{(10N)^2 \cdot 10N}, \quad (6)$$

где C_{1ij} , C_{2ij} , C_{3ij} , C_{4ij} , C_{5ij} – баллы, выставленные i -м экспертом пяти указанным выше критериям соответственно в процессе оценки реализации одной угрозы через j -ую уязвимость объекта информатизации.

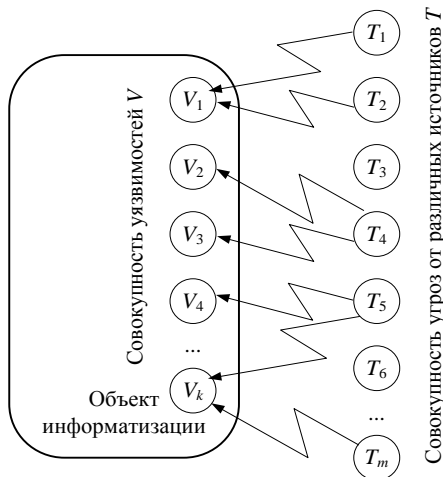


Рисунок 2 – Перекрестный характер угроз и уязвимостей безопасности объекта информатизации

Первый множитель в формуле (6), содержащий значения критериев C_1 и C_2 , характеризует угрозу, которая является одинаковой во всех используемых парах «угроза – уязвимость». Для всех из S пар эксперты должны были указать одинаковые критерии. Чтобы избежать возможных ошибок экспертов, в формуле (6) принимаются средние для всех S пар значения критериев C_1 и C_2 (в знаменателе присутствует множитель S^2).

Второй множитель, содержащий значения критериев C_3 и C_4 , характеризует уязвимость, которая является уникальной для каждой из используемых пар «угроза – уязвимость». Для того чтобы оценка опасности угрозы учитывала все возможные уязвимости, через которые она может реализоваться, необходимо сложить их значения критериев C_3 и C_4 . Чем больше уязвимостей объекта информатизации может использовать угроза для своей реализации, тем больше должен быть коэффициент ее опасности.

Последний множитель характеризует фатальность от реализации угрозы. Для оценки опасности угрозы необходимо использовать максимальное значение критерия, определенное экспертами для всех уязвимостей, через которые угроза может быть реализована.

Получено 30.09.2017

P. M. Bui, S. G. Kulgavik. Methodology of cross-cutting estimation of threats and vulnerabilities of safety of railway informatization objects.

The necessity of providing both informational and functional security of informatization objects of railway transport is grounded. The concepts of the threat and vulnerability of the security of the informatization object are given, as well as individual approaches to assessing their danger. An aggregated approach is proposed for assessing the dangers of threats and vulnerabilities. The necessary criteria and system of experts' points are given. The technique of cross-assessment of threats and vulnerabilities of objects of informatization of railway transport is presented.

Схожим образом производится расчет коэффициента опасности уязвимости, через которую могут реализоваться Z угроз:

$$K_{\text{оп.уязNZ}} = \frac{\sum_{j=1}^Z \sum_{i=1}^N C_{1ij} \cdot \sum_{j=1}^Z \sum_{i=1}^N C_{2ij}}{(10NZ)^2} \times \frac{\sum_{j=1}^Z \sum_{i=1}^N C_{3ij} \cdot \sum_{j=1}^Z \sum_{i=1}^N C_{4ij} \cdot \max_{j=1..Z} (\sum_{i=1}^N C_{5ij})}{(10N)^2 \cdot 10N}, \quad (7)$$

где C_{1ij} , C_{2ij} , C_{3ij} , C_{4ij} , C_{5ij} – баллы, выставленные i -м экспертом пяти указанным выше критериям соответственно в процессе оценки одной уязвимости объекта информатизации при реализации через нее j -й угрозы.

Здесь суммируются значения критериев C_1 и C_2 , выставленные экспертами для каждой из угроз, которые могут реализоваться через исследуемую уязвимость, а значения критериев C_3 и C_4 усредняются, т. к. характеризуют одну и ту же уязвимость во всех парах «угроза – уязвимость». Значение критерия C_5 также выбирается максимальным.

Таким образом, при проведении перекрестной оценки угроз и уязвимостей необходимо:

- определить совокупности угроз и уязвимостей безопасности объекта информатизации;
- увязать между собой угрозы и уязвимости, установив потенциальную реализацию первых через вторые;
- перевести в резерв несвязанные уязвимости и угрозы;
- вычислить по формуле (5) коэффициент опасности реализации каждой угрозы через каждую увязанную с ней уязвимость;
- для каждой из угроз и уязвимостей определить соответственно по формулам (6) и (7) коэффициенты их опасностей;
- произвести ранжирование угроз и уязвимостей, определив тем самым наиболее опасные из них.

Список литературы

- 1 СТБ 34.101.30-2007. Информационные технологии. Методы и средства безопасности. Объекты информатизации. Классификация. – Введ. 2008 –04–1. – Минск : БелГИСС. – 7 с.
- 2 Вихорев, С. В. Как узнать – откуда напасть или откуда исходит угроза безопасности информации / С. В. Вихорев, Р. Ю. Кобцев // Защита информации. Конфидент. – 2002. – № 2. – С. 44–49.
- 3 Вихорев, С. В. Как узнать – откуда напасть или откуда исходит угроза безопасности информации / С. В. Вихорев, Р. Ю. Кобцев // Защита информации. Конфидент. – 2002. – № 3. – С. 80–84.

УДК 004.738.2

В. Г. ШЕВЧУК, доцент, Е. С. БЕЛОУСОВА, кандидат технических наук, Ю. С. ГАНЦЕВИЧ, магистрант, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО ЦЕХА ПРЕДПРИЯТИЯ

Рассмотрено 3D-моделирование существующей и перспективной систем видеонаблюдения транспортного цеха предприятия с расстановкой видеокамер и определением зон обзора их с использованием компьютерной программы VideoCAD. Показано, что вопросы анализа прохождения данных через сетевые устройства данной системы решаются при помощи программного комплекса CiscoPacketTracer.

Организация беспроводной системы видеонаблюдения посредством Ethernet и Wi-Fi-технологий, анализ прохождения данных через сетевые устройства данной системы решаются при помощи программного комплекса CiscoPacketTracer [3].

CiscoPacketTracer – программный симулятор работы сети, который позволяет имитировать работу различных сетевых устройств: маршрутизаторов, коммутаторов, точек беспроводного доступа, персональных компьютеров, IP-камер и т. д. Благодаря CiscoPacketTracer, проектировщик может отследить перемещение данных по сети, появление и изменение параметров IP-пакетов при прохождении данных через сетевые устройства, скорость и пути перемещения IP-пакетов. Посредством терминального доступа или командной строки можно анализировать события, происходящие в сети, обнаружить неисправности и производить конфигурирование устройств [1, 2].

На рисунке 1 представлен интерфейс программы CiscoPacketTracer: 1 – главное меню программы; 2 – панель инструментов – дублирует некоторые пункты меню; 3 – переключатель между логической и физической организацией; 4 – панель инструментов, которая содержит инструменты выделения, удаления, перемещения, масштабирования объектов, а также формирования произвольных пакетов; 5 – переключатель между реальным режимом (Real-Time) и режимом симуляции; 6 – панель с группами конечных устройств и линий связи; 7 – конечные устройства, здесь содержатся всевозможные коммутаторы, узлы, точки доступа, проводники; 8 – панель создания пользовательских сценариев; 9 – рабочее пространство.

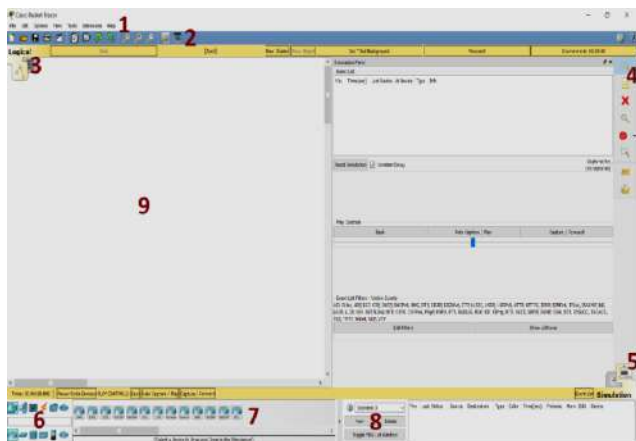


Рисунок 1 – Интерфейс программы Cisco Packet Tracer

Большую часть данного окна занимает рабочая область, в которой можно размещать различные сетевые устройства, соединять их различными способами и, как следствие, получать самые разные сетевые топологии.

Сверху, над рабочей областью, расположена главная панель программы и ее меню. Меню позволяет выполнять сохранение, загрузку сетевых топологий, настройку симуляции, а также много других интересных функций. Главная панель содержит на себе наиболее часто используемые функции меню.

На рисунке 2 представлен схематический план исследуемого объекта – транспортного цеха предприятия ГФ РУП «Белтелеком».

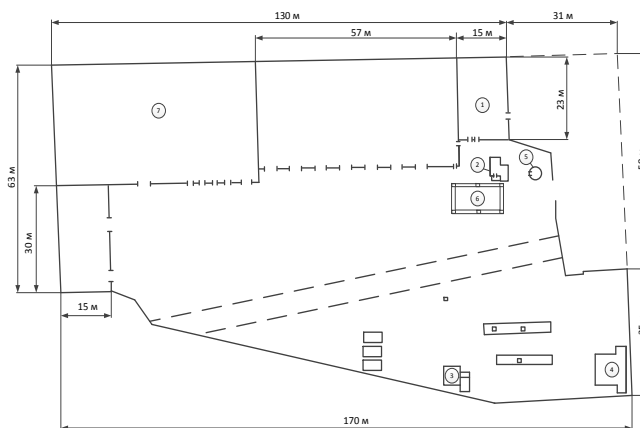


Рисунок 2 – План исследуемого объекта:
1 – административное здание; 2 – проходная; 3 – здание АЗС;
4 – трансформаторная подстанция; 5 – беседка;
6 – бетонно-металлический навес; 7 – гаражные боксы

Для исследуемого объекта расставляем IP-камеры видеонаблюдения, выбираем в программе CiscoPacketTracer необходимое оборудование для организации системы видеонаблюдения: персональный компьютер, коммутаторы, маршрутизатор, сервер, Wi-Fi точки доступа (рисунок 3).



Рисунок 3 – Выбор маршрутизатора

Используя необходимый интерфейс, соединяем устройства между собой. Для соединения устройств, которые функционируют на разных уровнях модели OSI: компьютер – коммутатор, коммутатор – сервер, коммутатор – точка доступа, коммутатор – маршрутизатор, применяется кабель типа «медный прямой». Для соединения устройств, которые функционируют на одинаковых уровнях модели OSI: коммутатор – коммутатор, маршрутизатор – маршрутизатор, применяется кабель типа «кроссовер», для соединения компьютер – роутер – консольный кабель (рисунок 4).

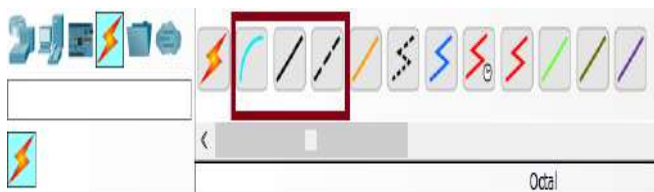


Рисунок 4 – Выбор линий связи

Передача информации с камер видеонаблюдения, которые располагаются в гаражном боксе, у главных ворот и у здания АЗС, на точку доступа осуществляется по радиоканалу. Для осуществления связи необходимо выбрать соответствующее оборудование и произвести настройки точки доступа.

Результат подключения устройств представлен на рисунке 5.

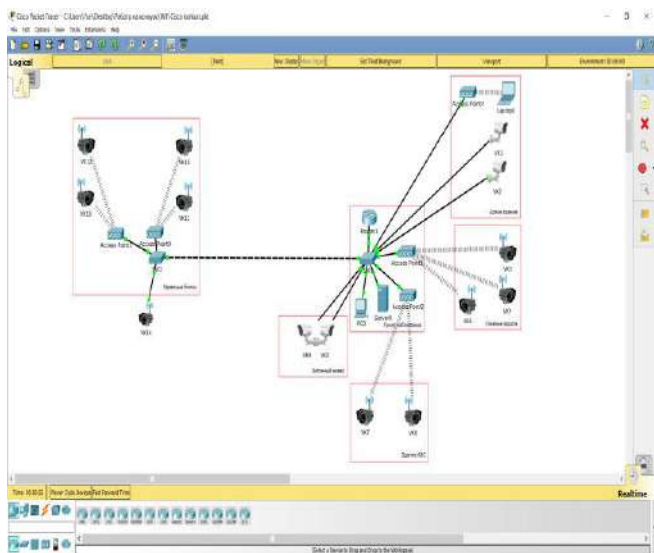


Рисунок 5 – Система видеонаблюдения в программном пакете CiscoPacketTracer

Для передачи изображения с беспроводных камер видеонаблюдения на сервер необходимо настроить беспроводные точки доступа.

На рисунке 6 приведен внешний вид Wi-Fi точки доступа, как правило, она имеет один внешний порт и встроенную или внешнюю антенну.

Для моделирования передачи информации в системе видеонаблюдения производится конфигурирование применяемых устройств.

У коммутатора IP-адрес задается на виртуальном интерфейсе, который по умолчанию связан со всеми физическими портами, в отличие от маршрутизатора, у

которого IP-адрес, как правило, задается на интерфейсах, привязанных к физическим сетевым интерфейсам.



Рисунок 6 – Внешний вид Wi-Fi точки доступа

Для анализа существующего проекта видеонаблюдения транспортного цеха предприятия использовалась программа VideoCAD, которая применяется для повышения эффективности системы видеонаблюдения путем оптимального размещения камер.

Моделирование выполнялось в несколько этапов.

Зона обзора разграничивается на регионы, выделенные программой разными цветами: желтый – обнаружение, красный – узнавание, фиолетовый – идентификация. Цвета регионов определяются шаблоном пространственного разрешения, назначенным камере (рисунок 7).



Рисунок 7 – Окно пространственного разрешения для камеры ActiveCam AC-D2053ZIR3

Критерием шаблона для цифровых изображений служит пк/м. В зависимости от вертикального разрешения камеры меняется размер зоны обзора (для камеры ActiveCam AC-D2053ZIR3 вертикальное разрешение равно 1080 пк). Чем больше вертикальное разрешение камеры, тем больше размер регионов, и наоборот, чем меньше разрешение, тем меньше размер региона.

Согласно рекомендации по проектированию систем видеонаблюдения Р 78.36.008-99 «Проектирование и монтаж систем охранного телевидения и домофонов», для обнаружения человека число пк/м должно быть равным 20, для узнавания – 67, для идентификации личности – 500.

На рисунках 8 и 9 представлены результаты моделирования с обозначением зон обзора видеокамер.

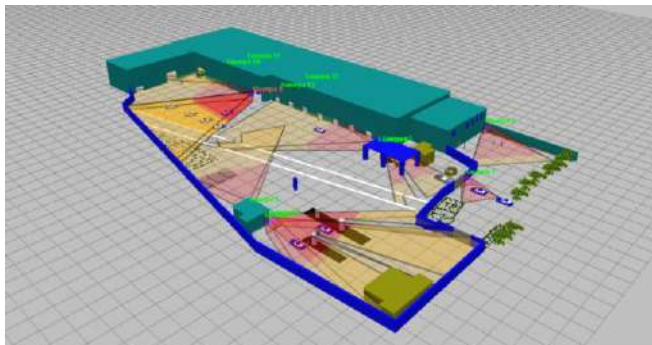


Рисунок 8 – 3D-модель транспортного цеха предприятия с расстановкой видеокамер

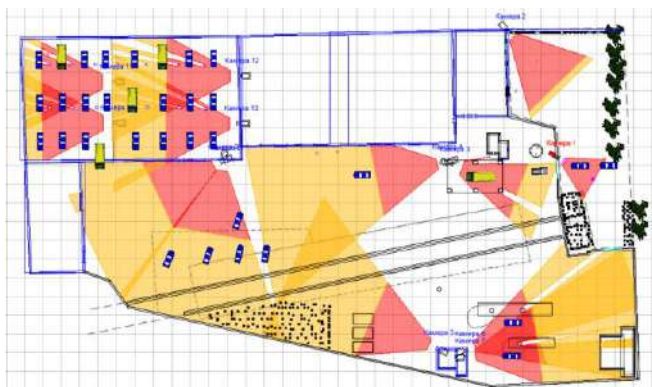


Рисунок 9 – План транспортного цеха в пакете VideoCAD с обозначением зон обзора

Из рисунка 9 видно, что в зону обзора камер, установленных на территории предприятия, входят зоны обнаружения и узнавания. Однако камеры, установленные на административном здании и на въезде на территорию цеха, не обеспечивают функции идентификации лица человека и чтения автомобильного номера. Для камер № 8 и 9 углы обзора составляют 60 и 45 град соответственно, данные камеры можно заменить одной, с углом обзора большим, чем суммарный угол обзора камер № 8 и 9. Таким же образом можно поступить с камерами № 6 и 7. Также необходимо рассмотреть систему видеонаблюдения в гаражном боксе и оптимизировать расположение камер в этом помещении.

При встречном расположении камер решаются следующие проблемы:

Получено 20.10.2017

V. G. Shevchuk, H. S. Belousova, Yu. S. Hantsevich. 3D-modeling of video surveillance systems the transportation department of the enterprise.

Considered 3D-modeling of existing and future video surveillance systems the transportation Department of the enterprise with the arrangement of video cameras and determining zones of visibility using a computer program VideoCAD. It is shown that the analysis of the data passing through network devices of the system are solved by complex software CiscoPacketTracer.

- с помощью противоположной видеокамеры удаётся просматривать ближнюю зону данной видеокамеры;
- просмотр противоположной видеокамеры не позволяет злоумышленнику произвести незамеченным повреждение или хищение камеры.

На рисунке 10 представлен план транспортного цеха с обозначением зон обзора при измененном расположении камер.

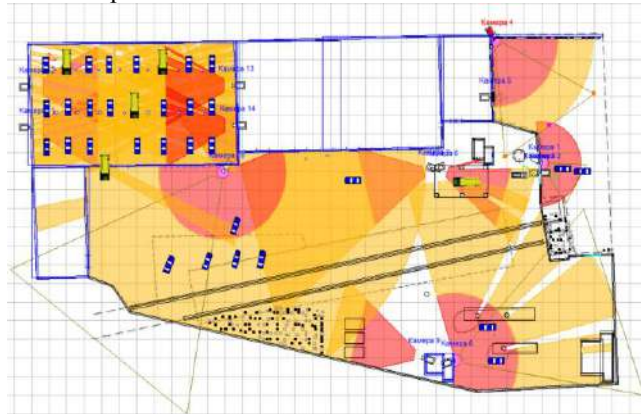


Рисунок 10 – План транспортного цеха в пакете VideoCAD с обозначением зон обзора при измененном положении видеокамер

В результате анализа были выявлены и устранены недостатки существующей системы видеонаблюдения транспортного цеха предприятия.

На территории у административного здания и въезде на территорию цеха установлены купольные камеры, что увеличивает зону обзора.

У входа в административное здание и у главных ворот были установлены камеры, позволяющие по рассчитанным критериям опознавать лица и читать автомобильные номера.

Были выбраны и установлены купольные камеры марок ActiveCam AC-D8101R2 и HikVision DS-2CD2332-I, которые увеличили зону обзора.

В гаражном боксе камеры расположили так, чтобы они оказались в поле зрения друг друга для просмотра ближней зоны встречной камеры.

Список литературы

- 1 **Коломеец, Г. П.** Организация компьютерных сетей : учеб. пособие / Г. П. Коломеец. – Запорожье : КПУ, 2012. – 156 с.
- 2 **Масич, Г. Ф.** Сети передачи данных : учеб.-метод. пособие / Г. Ф. Масич. – Пермь : Изд-во Перм. нац.-исслед. политехн. ун-та, 2014. – 192 с.
- 3 **Одом, Уэнделл.** Официальное руководство Cisco по подготовке к сертификационным экзаменам CCNA ICND2 200-101: маршрутизация и коммутация : пер. с англ. / У. Одом. – М. : Вильямс, 2015. – 736 с.

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

УДК 681.5

С. А. АЗЕМША, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель,
В. Б. ПАРФЁНОВА, магистр техники и технологии, Белорусский государственный университет транспорта,
г. Гомель

РАЗРАБОТКА ПУТЕЙ СНИЖЕНИЯ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АВТОМОБИЛИЗАЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ НА СОСТОЯНИЕ ЗДОРОВЬЯ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ

Одним из показателей качества жизни населения страны является уровень автомобилизации. Вместе с тем такой процесс несет ряд негативных аспектов, снижая продолжительность и качество жизни населения за счет снижения его физической активности и ухудшения экологической обстановки. Снизить такое влияние представляется возможным за счет управления процессом автомобилизации населения с применением научных методов, основанных на установлении управляемых параметров с последующим обоснованным воздействием на них.

В данной статье оценена динамика изменения автомобилизации населения Республики Беларусь и степени пользования автомобилями. Установлены факторы, статистически значимо влияющие на исследуемые величины. Разработаны обоснованные основные направления управления автомобилизацией и степенью пользования автомобилями с целью минимизации негативного воздействия данного процесса на состояние здоровья и продолжительность жизни населения.

Автомобилизация – показатель оснащенности легковыми автомобилями населения страны, который рассчитывается как число индивидуальных легковых автомобилей на 1000 жителей. Наряду с положительным эффектом для экономики страны (перемещение пассажиров и грузов), автомобилизация вызывает и ряд негативных аспектов – рост аварийности, ухудшение экологии и снижение физической активности населения и, как следствие, ухудшение состояния здоровья населения и снижение продолжительности жизни.

В Республике Беларусь уровень автомобилизации неуклонно растет, увеличивая негативные аспекты данного процесса. На рисунке 1 приведен график изменения общего числа зарегистрированных легковых транспортных средств на 1000 жителей в Беларуси [1].

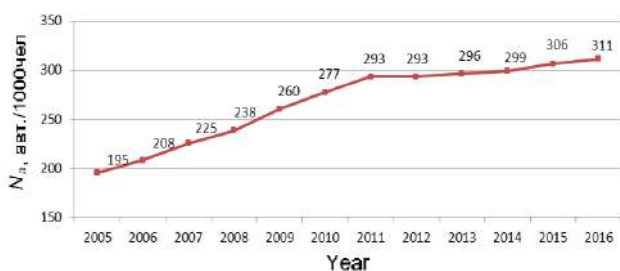


Рисунок 1 – Динамика изменения числа легковых автомобилей на 1000 жителей в Республике Беларусь

Проведенный статистический анализ позволил определить уравнения изменения количества числа легковых зарегистрированных транспортных средств на 1000 жителей (N_a) в зависимости от календарного года:

$$N_a = -21391,8 + 10,7727 \text{ Year}, \quad (1)$$

где Year – календарный год.

Из уравнения (1) видно, что количество зарегистрированных транспортных средств на 1000 жителей в Рес-

публике Беларусь ежегодно увеличивается на 10 ед./1000 жителей.

В таблице 1 приведены критерии оценки полученного уравнения (1), а на рисунке 2 – диаграмма распределения остатков.

Таблица 1 – Критерии оценки уравнений регрессии

Коэффициент корреляции	Коэффициент детерминации, %	Стандартная ошибка	Статистика Дарбина-Уотсона	Критерий Фишера	Р-уровень
0,957739	91,7265	12,2346	0,35093	110,87	0,000

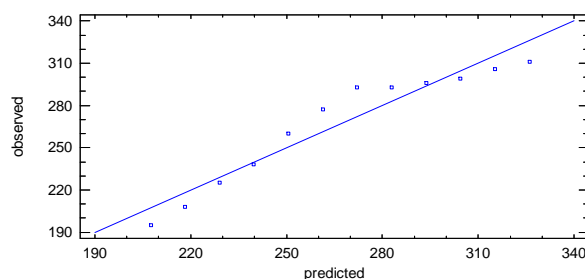


Рисунок 2 – Диаграмма распределения остатков зависимости количества легковых транспортных средств на 1000 жителей от календарного года

Приведенные критерии оценки уравнения (1) (см. таблицу 1) и диаграмма рассеивания остатков (см. рисунок 2) позволяют сделать вывод о статистической значимости полученной регрессионной модели (1).

Было предположено, что на уровень автомобилизации (N_a) влияет отношение номинальной начисленной среднемесячной заработной платы к средней стоимости автомобильного топлива (Z_p/C). На рисунке 3 приведена диаграмма рассеивания соответствующих величин.

Из рисунка 3 видно, что уровень автомобилизации увеличивается с ростом отношения заработной платы к средней стоимости автомобильного топлива. Также обратим внимание на наличие «выброса» в 2011 году. Его можно объяснить увеличением стоимости таможенных

платежей за ввоз легковых автомобилей на территорию Республики Беларусь 2011 года.

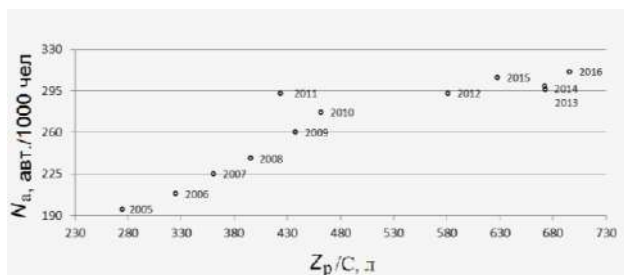


Рисунок 3 – Диаграмма рассеивания общего числа ТС на 1000 человек в зависимости от отношения заработной платы к стоимости топлива [2–5]

После проведения регрессионного анализа была получена следующая модель:

$$N_a = 129,359 + 0,273901 Z_p/C, \quad (2)$$

где Z_p/C – отношение заработной платы к средней стоимости топлива, л.

В таблице 2 приведены критерии оценки полученного уравнения, а на рисунке 4 – диаграмма распределения остатков.

Таблица 2 – Критерии оценки уравнения регрессии

Параметр	Значение	Стандартная ошибка	Критерий Стьюдента	P-уровень	Коэффициент корреляции	Коэффициент детерминации, %	Критерий Фишера	P-уровень
Intercept	129,3	13,506	9,577	0,00	0,96377	92,8859	104,4	0,0
Slope	0,274	0,0268	10,22	0,00				

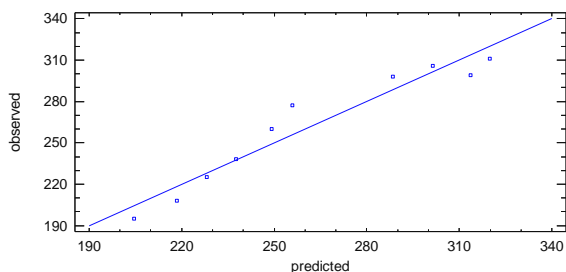


Рисунок 4 – Диаграмма распределения остатков между уровнем автомобилизации и отношением заработной платы к средней стоимости литра автомобильного топлива

Исходя из проведенного анализа (см. таблицу 2), а также диаграммы распределения остатков (см. рисунок 4) можно сделать вывод о наличии статистической значимости между общим числом легковых транспортных средств на 1000 человек населения (N_a) и отношением номинальной начисленной среднемесячной заработной платы к стоимости автомобильного топлива (Z_p/C).

Если посмотреть на проблему загрязнения автомобилем окружающей среды и воздействия на количество заболеваний и продолжительность жизни, то одним из факторов, определяющих степень негативного воздействия автомобилизации, является не только количество транспортных средств, но также и активность их использования.

Основными показателями, которые характеризуют активность использования автомобилей принято считать:

- 1) частоту использования автомобиля (раз/сут).
- 2) величину среднесуточного пробега (км/сут).

Так как получить данные частоты использования автомобиля и величины среднесуточного пробега для Республики Беларусь не предоставляется возможным ввиду отсутствия такой информации в государственной статистической отчетности, то в качестве критерия, описывающего активность использования автомобиля, выбрано количество потребленного автомобильного топлива (таблица 3).

Таблица 3 – Потребление автомобильного топлива

Год	В тысячах тонн										
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Бензина (P_{ai})	465,5	560,5	553,7	590,7	605,1	635,6	637,1	675,8	729,7	758,4	758,5
Дизельного топлива (P_{di})	305,5	447,8	399,5	526,7	313,9	341,1	705,4	781,8	761,8	635,3	485,4
Всего автомобильного топлива (P)	771	1008,3	953,2	1117,4	919	976,7	1342,5	1457,6	1491,5	1393,7	1243,9

На рисунке 5 приведен график изменения потребления автомобильного топлива в зависимости от календарного года.

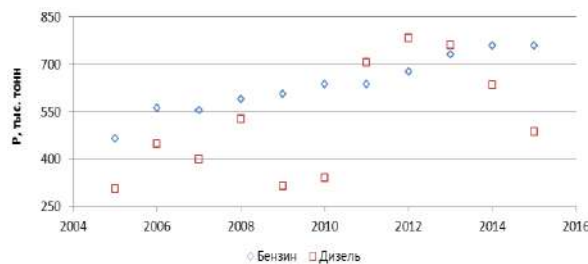


Рисунок 5 – Изменение потребления автомобильного топлива в зависимости от календарного года

Дальнейший регрессионный анализ позволил определить уравнения изменения потребления автомобильного бензина (P_{ai}) от календарного года:

$$P_{ai} = -53943,3 + 27,1527 Year \quad (3)$$

Из уравнения (3) видно, ежегодно объем потребления автомобильного бензина в Республике Беларусь возрастает на 27 тыс. т.

В таблице 4 приведены критерии оценки полученного уравнения регрессии, а на рисунке 6 – диаграмма распределения остатков.

Таблица 4 – Критерии оценки уравнения регрессии

Параметр	Значение	Стандартная ошибка	Критерий Стьюдента	P-уровень	Коэффициент корреляции	Коэффициент детерминации, %	Критерий Фишера	P-уровень
Intercept	-53943	3909	-13,88	0,0	0,98	95,59	194,9	0,0
Slope	27,15	1,95	13,96	0,06				

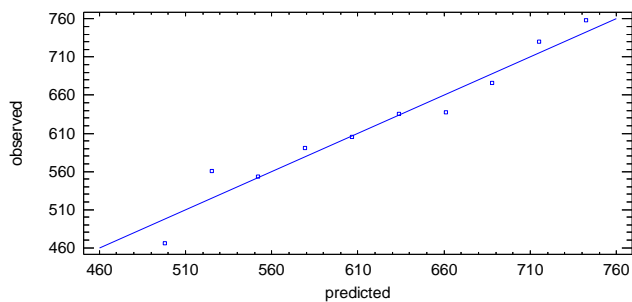


Рисунок 6 – Диаграмма распределения остатков между количеством потребленного автомобильного бензина и календарным годом

На основании критериев оценки уравнения регрессии (см. таблицу 4), диаграмм распределения остатков (см. рисунок 6) можно утверждать, что полученная регрессионная модель (3) статистически значима.

Получить статистически значимую модель зависимости потребления дизельного топлива от календарного года не удалось.

График изменения суммарного потребления автомобильного топлива (бензина и дизельного топлива) в зависимости от календарного года представлен на рисунке 7.

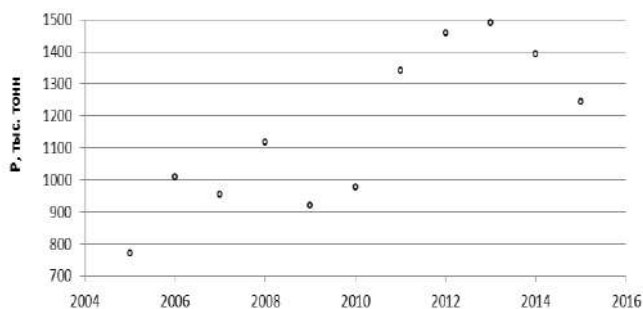


Рисунок 7 – Изменение суммарного потребления автомобильного топлива в зависимости от календарного года

Проведенный регрессионный анализ зависимости изменения суммарного потребления автомобильного топлива от календарного года позволил получить модель следующего вида:

$$P = -123496 + 62,0097 \text{ Year}, \quad (4)$$

где P – суммарное потребление автомобильного топлива, тыс. т.

Из выражения (4) видно, что в среднем суммарное потребление автомобильного топлива возрастает на 62 тыс. т ежегодно.

В таблице 5 приведены критерии оценки полученного уравнения, а на рисунке 8 – диаграмма распределения остатков.

Таблица 5 – Критерии оценки уравнения регрессии

Параметр	Значение	Стандартная ошибка	Критерий Стьюдента	P-уровень	Коэффициент корреляции	Коэффициент детерминации, %	Критерий Фишера	P-уровень
Intercept	-123496	30616	-4,03	0,0	0,84	70,6	19,2	0,0
Slope	62,00	15,234	4,03	0,00				

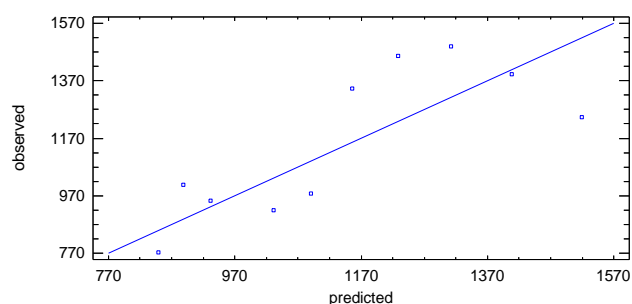


Рисунок 8 – Диаграмма распределения остатков между суммарным количеством потребленного автомобильного топлива и календарным годом

На основании критериев оценки уравнения регрессии (см. таблицу 5) и диаграммы распределения остатков (см. рисунок 8) можно утверждать, что полученная регрессионная модель (4) статистически значима.

Была выдвинута гипотеза о наличии связи между уровнем автомобилизации и количеством потребленного автомобильного топлива. Диаграмма рассеивания соответствующих величин приведена на рисунке 9.

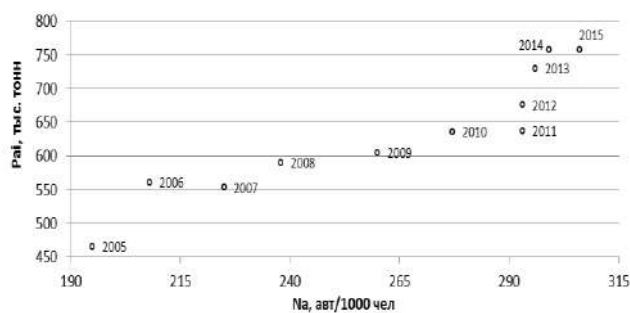


Рисунок 9 – Диаграмма рассеивания количества потребленного бензина в зависимости от уровня автомобилизации

Из рисунка 9 видно, что с ростом автомобилизации увеличивается и объем потребляемого бензина.

Дальнейший регрессионный анализ позволил установить, что зависимость изменения потребления автомобильного топлива (P_{ai}), тыс. т от уровня автомобилизации в Республике Беларусь имеет следующий вид:

$$P_{ai} = 72,5521 + 2,12582 N_a. \quad (5)$$

В таблице 6 приведены критерии оценки уравнения регрессии зависимости потребления автомобильного бензина от количества легковых транспортных средств, зарегистрированных на 1000 человек населения, а на рисунке 10 – диаграмма распределения остатков.

Таблица 6 – Критерии оценки уравнения регрессии

Параметр	Значение	Стандартная ошибка	Критерий Стьюдента	P-уровень	Коэффициент корреляции	Коэффициент детерминации, %	Критерий Фишера	P-уровень
Intercept	72,55	76,92	0,943	0,37	0,9262	85,7	54,3	0,0
Slope	2,1	0,29	7,37	0,0				

На основании критериев оценки уравнения регрессии (см. таблицу 6) и диаграммы распределения остатков (см. рисунок 10) можно утверждать, что полученная модель (5) является статистически значимой.

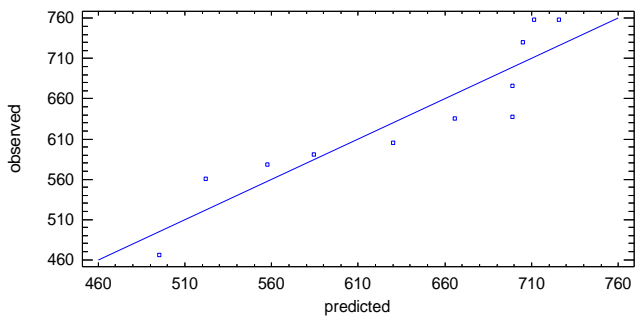


Рисунок 10 – Диаграмма распределения остатков между количеством потребленного автомобильного бензина и уровнем автомобилизации

Получить статистически значимую модель зависимости количества потребленного дизельного топлива от уровня автомобилизации не удалось.

График изменения суммарного потребления автомобильного топлива в зависимости от уровня автомобилизации приведен на рисунке 11.

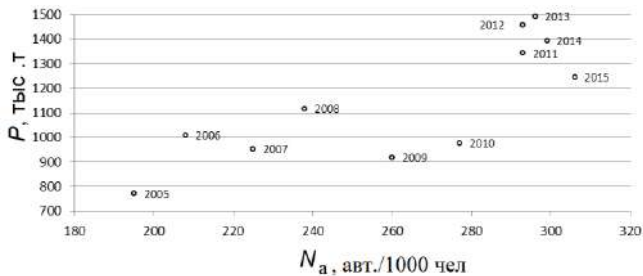


Рисунок 11 – Диаграмма распределения остатков между суммарным количеством потребленного автомобильного топлива и уровнем автомобилизации

Проанализировав рисунок 11, видим, что с ростом автомобилизации растет объем суммарного потребления автомобильного топлива (бензина и дизельного топлива). Дальнейший статистический анализ позволил определить изменение суммарного потребления автомобильного топлива, P , тыс. т, от уровня автомобилизации в Республике Беларусь:

$$P = -266,1 + 5,39746 N_a, \quad (6)$$

где P – суммарное потребление автомобильного топлива, тыс. т.

Из выражения (6) видно, что с ростом автомобилизации на 1 авт./1000 жителей годовой объем потребляемого автомобильного топлива (бензина и дизельного топлива) увеличивается более чем на 5 тыс. т.

В таблице 7 приведены критерии оценки уравнения регрессии, а на рисунке 12 – диаграмма распределения остатков.

Таблица 7 – Критерии оценки уравнения регрессии

Параметр	Значение	Стандартная ошибка	Критерий Стьюдента	P-уровень	Коэффициент корреляции	Коэффициент детерминации, %	Критерий Фишера	P-уровень
Intercept	-266,1	414,2	-0,64	0,5443	0,8	69,7	11,37	0,02
Slope	5,4	1,6	3,37	0,0150				

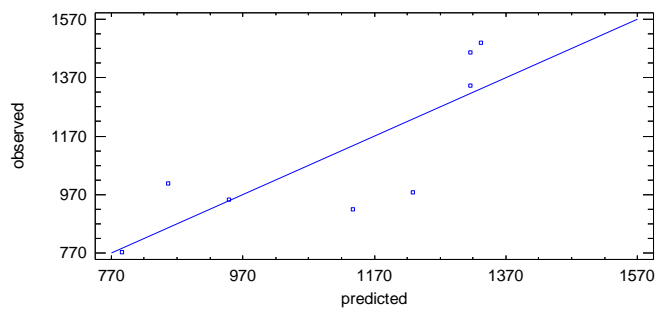


Рисунок 12 – Диаграмма распределения остатков между суммарным количеством потребленного автомобильного топлива и уровнем автомобилизации

На основании критериев оценки уравнения регрессии (см. таблицу 7) и диаграммы распределения остатков (см. рисунок 12) можно утверждать, что полученная модель (6) является статистически значимой.

Было предположено, что на активность использования будет влиять отношение среднегодовой заработной платы (Z_p) к среднегодовой стоимости автомобильного топлива (C). В таблице 8 представлена динамика отношения заработной платы к стоимости автомобильного топлива.

Таблица 8 – Динамика отношения заработной платы к стоимости бензина

Год	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Z_p/C_{ai}	273,3	310,1	334,5	356,0	398,6	410,1	388,4	549,0	633,2	616,1	567,1
Z_p/C_{di}	233,7	285,9	318,2	342,9	367,9	388,3	345,5	464,3	576,3	580,0	529,6
Z_p/C	258,7	301,6	328,9	351,5	387,8	402,6	373,0	517,5	613,0	603,6	554,0

На рисунке 13 приведена диаграмма рассеивания суммарно потребленного автомобильного топлива в зависимости от отношения начисленной среднегодовой месячной заработной платы к среднегодовой цене на автомобильное топливо.

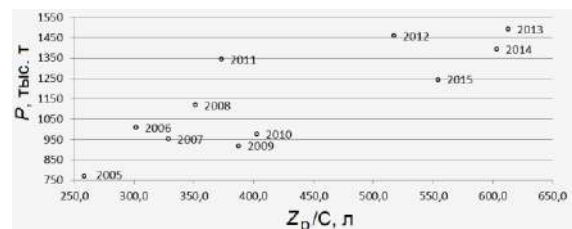


Рисунок 13 – Диаграмма рассеивания суммарно потребленного автомобильного топлива в зависимости от отношения заработной платы к стоимости топлива

Из рисунка 13 видно, что с ростом отношения начисленной среднегодовой месячной заработной платы к среднегодовой цене на автомобильное топливо увеличивается суммарный объем потребляемого автомобильного топлива (бензина и дизельного топлива). Соответствующий регрессионный анализ позволил

установить, что между исследуемыми величинами имеется связь следующего вида:

$$P = 375,486 + 1,75131 Z_p/C, \quad (7)$$

где P – суммарное потребление автомобильного топлива, тыс. т; Z_p/C – отношение заработной платы к средней стоимости литра бензина, л.

В таблице 9 приведены критерии оценки полученного уравнения регрессии, а на рисунке 14 – соответствующая диаграмма остатков.

Таблица 9 – Критерии оценки уравнения регрессии

Параметр	Значение	Стандартная ошибка	Критерий Стьюдента	P-уровень	Коэффициент корреляции	Коэффициент детерминации, %	Критерий Фишера	P-уровень
Intercept	375,5	131,7	2,85	0,02	0,904	81,69	35,7	0,01
Slope	1,75	0,29	5,97	0,00				

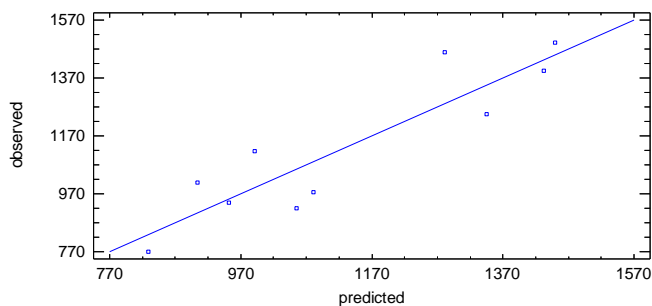


Рисунок 14 – Диаграмма распределения остатков между количеством потребленного бензина и отношением заработной платы к средней стоимости бензина

Значения критериев оценки уравнения регрессии (см. таблицу 9) и диаграмма распределения остатков (см. рисунок 14), позволяют сделать вывод о том, что полученная модель (7) является статистически значимой.

Таким образом, проведенный анализ позволяет сформулировать следующие основные выводы.

1 Уровень автомобилизации в Республике Беларусь увеличивается с каждым годом в среднем на 11 автомобилей на 1000 человек населения (см. (1)).

2 Основным фактором, статистически значимо влияющим на уровень автомобилизации, является отношение заработной платы к средней стоимости автомобильного топлива, т. е. величина, показывающая, сколько литров топлива можно купить за среднюю заработную плату. Увеличение среднемесячной зарплаты, приводящее к возможности дополнительной покупке одно-

го литра топлива, увеличивает уровень автомобилизации на 0,27 авт. / 1000 жителей (см. (2)).

3 Одним из факторов, определяющим наряду с уровнем автомобилизации степень его негативного воздействия на качество жизни является объем потребляемого населением автомобильного топлива. Этот показатель выбран как мера активности и пользования автомобилем. Было установлено, что с каждым годом объем потребляемого топлива (бензина и дизельного топлива) увеличивается на 62 тыс. т (см. (4)).

4 Суммарный объем потребляемого автомобильного топлива (бензина и дизельного топлива) увеличивается с ростом автомобилизации и ростом отношения заработной платы к средней стоимости автомобильного топлива. При этом увеличение автомобилизации на 1 авт./1000 жителей приводит к дополнительному годовому потреблению автомобильного топлива в 5,4 тыс. т (см. (6)). Рост отношения заработной платы к средней стоимости автомобильного топлива на один литр / месяц приводит к годовому приросту в расходе топлива на 1,75 тыс. т.

Таким образом, основным фактором, влияющим на величину автомобилизации и объем его негативного воздействия на окружающую среду, является отношение среднегодовой месячной заработной платы к средней стоимости автомобильного топлива. Это позволяет определить эту величину как управляющую переменную при разработке мероприятий, направленных на снижение негативного воздействия автомобилизации за счет управления ее уровнем и степенью пользования автомобилями.

Список литературы

- 1 Транспорт и связь в Республике Беларусь : стат. сборник // Национальный статистический комитет Республики Беларусь / редкол.: И. В. Медведева [и др.]. – Минск, 2016. – 115 с.
- 2 Социальное положение и уровень жизни населения Республики Беларусь : стат. сборник // Национальный статистический комитет Республики Беларусь / редкол.: И. В. Медведева [и др.]. – Минск, 2016. – 386 с.
- 3 Стоимость автомобильного топлива в Беларуси / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.belorusneft.by/sitebeloil/ru/center/azs/center/fueland Service/price](http://www.belorusneft.by/sitebeloil/ru/center/azs/center/fueland%20Service/price). – Дата доступа: 17.12.16.
- 4 Беларусь в цифрах : стат. сборник // Национальный статистический комитет Республики Беларусь / редкол.: И. В. Медведева [и др.]. – Минск, 2017. – 72 с.
- 5 Цены на потребительском рынке в Республике Беларусь : стат. сборник // Национальный статистический комитет Республики Беларусь / редкол.: И. В. Медведева [и др.]. – Минск, 2016. – 236 с.
- 6 Парфенова, В. Б. Статистическое исследование влияния уровня автомобилизации на количество заболеваний и продолжительность жизни населения : магистерская дис. / В. Б. Парфенова. – Гомель : БелГУТ, 2017. – 120 с.

Получено 01.09.2017

S. A. Azemsha, V. B. Parfenava. Development of activities to reduce the negative impact of automobilization in the Republic of Belarus on health status and life period of living.

One of the indicators of the quality of life of the country's population is the level of motorization. At the same time, such a process carries a number of negative aspects, reducing the duration and quality of life of the population. It is possible to reduce this influence by controlling the population's motorization using scientific methods based on the establishment of controlled parameters.

This article assesses the dynamics of changes in the motorization of the population of the Republic of Belarus and the degree of use of cars. The factors statistically significantly influencing the investigated values are established. The justified directions of motorization management and the degree of car use have been developed in order to minimize the negative impact of this process on the health status and life expectancy of the population.

УДК 656

В. С. МОГИЛА, кандидат технических наук, С. А. АЗЕМША, кандидат технических наук, В. Н. ГАЛУШКО, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБОБЩЕННОГО ПОКАЗАТЕЛЯ СЛОЖНОСТИ ДЛЯ ГОРОДСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ МАРШРУТНОЙ СИСТЕМЫ Г. ГОМЕЛЯ

Приведен расчет обобщенного критерия сложности троллейбусных маршрутов. Данный критерий дополняет алгоритмический метод расчета сложности маршрута за счет учета средней скорости и фактического расхода электроэнергии по маршрутам. Полученные результаты могут быть использованы для оперативного корректирования основных нормативов технической эксплуатации с учетом сложности маршрута движения городского транспорта.

В данном исследовании излагается универсальная технология определения сложности маршрута любого предприятия общественного пассажирского транспорта. Целью реализации технологии является получение данных по показателю сложности маршрутов для использования его в принятии управленческих решений, повышении эффективности технической эксплуатации городского пассажирского транспорта общественного пользования за счет объективного учета индивидуальных особенностей, условий эксплуатации на маршруте транспортных средств при оперативной корректировке основных нормативов технической эксплуатации. Объектом исследования являлась городская транспортная маршрутная автобусная и троллейбусная система г. Гомеля.

Существует ряд особенностей в организации труда водителей пассажирского транспорта общественного пользования:

- основная работа водителей протекает вне предприятия, поэтому и ее результаты в значительной степени зависят от инициативы водителей;
- на результаты деятельности общественного транспорта предприятий во многом влияют внешние факторы (состояние дорог, климатические условия, интенсивность движения транспорта на протяжении маршрута и др.), из-за которых возможны изменения в видах и объемах работ водителей;
- из-за того, что работа водителей протекает в отрыве от производственного коллектива, на открытом воздухе и связана с воздействием на него изменяющихся метеорологических факторов, зависящих от климатической зоны, времени года, условий погоды, повышается значимость влияния субъективных факторов на результаты деятельности водителя и безопасность движения;
- на водителя воздействует два вида нагрузок: физическая и нервно-эмоциональная.

Исследованиями МАДИ (ГТУ РФ) установлено, что условия эксплуатации и тип маршрута существенно влияют на целый ряд технико-эксплуатационных показателей работы, в частности, расход топлива автобусом или электроэнергией троллейбусом, ресурс шин, потери линейного времени, напряженность труда водителей, выбросы вредных веществ в отработавших газах [1].

Существенное различие маршрутов движения городских маршрутных транспортных средств (ГМТС) требует индивидуального подхода при планировании и организации работы транспортных средств на линии и расчете основных нормативов технической эксплуата-

ции (периодичности ТО-1 и ТО-2, удельные трудоемкости ТР, пробеги до капитального ремонта и списания), а также режимов труда водителей и их зарплаты.

При решении вопросов индивидуального учета и анализа работы транспортных средств необходимо использовать программно-целевой и системный подходы, рассматривающие ГМТС во взаимодействии с условиями эксплуатации, как многофакторную систему, анализ связей которой необходимо осуществлять современными математическими методами.

Анализ состояния вопроса показал, что для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи.

- 1 Расширить число факторов, характеризующих сложность маршрута движения и определяющих реализацию их технико-эксплуатационных свойств в эксплуатации.
- 2 Разработать математические модели параметра сложности маршрута.
- 3 Разработать методику определения сложности маршрутов движения городских маршрутных транспортных средств.

Использование методов алгоритмического анализа на городском маршрутном транспорте является более научно обоснованным способом, чем применение коэффициента тяжести, и менее трудоёмким, чем использованием физиологических методов. В то же время нормирование и оплата труда водителей с учетом сложности маршрутов способствует существенному улучшению работы пассажирского транспорта общественного пользования [1] и, следовательно, повышению качества транспортного обслуживания населения. Для решения этой задачи необходимо проведение аттестации маршрутов с отражением показателей сложности в паспортах маршрутов.

В качестве базисного метода оценки сложности маршрута использовался алгоритмический [1, 2]. Сущность данного метода заключается в разложении рабочего процесса на качественно различные элементарные составляющие. Для каждого троллейбусного маршрута г. Гомеля была составлена схема маршрута с указанием остановок и их особенностей, поворотов, подъемов, спусков, светофоров, и т. д. Для определения сложности маршрута были выделены транспортные ситуации, которые характеризуют данный маршрут. В перечень типовых ситуаций на маршруте входят: остановочные пункты с «карманом», остановочные пункты без «кармана», перегоны, светофоры при движении прямо, светофоры при повороте направо, светофоры на повороте

налево, поворот направо без светофора без остановки (по главной дороге) и с остановкой на повороте (по второстепенной дороге), перестроения, железнодорожные переезды, плавный поворот направо или налево, движение по кольцевому перекрестку, спуски, подъемы.

Оценка деятельности водителей с точки зрения степени сложности процессов управления транспортными средствами различных типоразмеров и характера маршрутов движения должна быть комплексной, учитывать конструктивные особенности органов управления транспортным средством и условия движения на маршруте. Водитель во время работы выполняет большое количество действий, причём внешне они довольно просты и сводятся к нажатию педалей, перемещению рычагов, включению и выключению тумблеров, повороту рулевого колеса. Все эти действия производятся в определённом порядке в зависимости от типовых дорожно-транспортных ситуаций. Величина усилий моторных действий водителя, прилагаемых к органам управления, достаточно велика и неодинакова. Поэтому целесообразно не просто учитывать типовые действия водителя, а взвешивать их по величине усилий, прилагаемых к органам управления. Существенным недостатком этого метода является отсутствие учёта технических факторов, влияющих на сложность трудовой деятельности водителя по управлению автобусом (габаритной длины, полной массы, типа конструкции корбо-

ки передач). Следует также отметить, что характер взаимосвязи между сложностью трудовой деятельности водителя и расходом топлива может быть различен. Сравнение расхода топлива и сложности процессов управления автобусов, оборудованных гидромеханической коробкой переключения передач и обычной механической показывает, что топливная экономичность меньше [1].

Каждая типовая транспортная ситуация реализуется несколькими алгоритмами характерных операций по управлению ГМТС, которые обязательно «срабатывают» в данной ситуации. Были определены по каждой выбранной транспортной ситуации операции по управлению ГМТС. Например, типовая транспортная ситуация «Остановочный пункт с карманом» включает в себя маневр заезда в карман на остановке, торможение до остановки, трогание, маневр и выезд с остановочного пункта.

По каждой операции на основе разработанных алгоритмов был произведен количественный анализ деятельности водителя. Так как маршруты отличаются между собой по длине и времени выполнения рейса, то в качестве сравнительных характеристик использовались удельные величины. Результаты расчета алгоритмическим методом, например, для троллейбусных маршрутов, представлены в таблице 1. Они являются исходными данными для дальнейших расчетов.

Таблица 1 – Результаты расчета алгоритмическим методом для троллейбусных маршрутов г. Гомеля

Маршрут	Сложность маршрута	Удельная сложность по времени рейса	Удельный фактический расход электроэнергии за рейс, кВт·ч/км	Средняя скорость, км/ч
1	1102	16,95	2,01	15,5
2	1058	17,34	1,81	16,6
3	1388	14,02	1,775	17,9
5	1113	15,68	1,7	17,7
6	947	17,22	1,58	20
7	1348	16,24	1,72	18,7
8	1053	17,26	1,81	16,6
10	1218	21,37	1,96	15,2
11	1727	18,57	1,66	18,1
12	1752	17,88	1,66	17,1
15	1152	17,45	1,86	16,7
17	1608	22,33	1,6	17,3
19	1412	18,1	1,79	16,8
20	1719	15,49	1,96	16,3

Как отмечено рядом исследователей [3, 4], алгоритмический метод не учитывает такие важные факторы, как средняя скорость по маршруту, наполняемость, интенсивность движения и связанную с ними возрастающую проблему “пробок”. По данным счетчиков электроэнергии на троллейбусах за 2012 и 2013 гг. для всех типов троллейбусов (АКСМ-20101, АКСМ-20102 и т. д.) определяли фактический расход электроэнергии по маршрутам (таблица 1), также рассчитывалась средняя скорость.

Поскольку каждый критерий оценивания маршрута имеет различный смысл и его значение определяется с различной размерностью, а также в связи с тем, что критерии трудно сравнивать друг с другом даже в случае, когда они одного типа, была использована операция нормировка (таблица 2). В итоге все компоненты вектора критериев имели одинаковый тип (в данном случае требовали максимизации) и изменялись в одном и том же диапазоне их значений (0,1). Данный подход привел к возможности их сравнения.

Таблица 2 – Результаты расчетов обобщенного критерия сложности маршрута

Маршрут	Нормированная удельная сложность ($Y_{\text{сложность}}^*$)	Нормированный удельный расход электроэнергии за июнь ($Y_{\text{расход}}^*$)	Нормированная средняя скорость ($Y_{\text{скорость}}^*$)	Обобщенный критерий сложности маршрута (W)
1	0,400	0,605	0,292	0,481
2	0,000	0,513	0,563	0,287
3	0,200	0,316	0,521	0,284
5	0,385	0,000	1,000	0,273
6	0,267	0,368	0,729	0,359
7	0,390	0,605	0,292	0,477
8	0,884	1,000	0,000	0,848
10	0,548	0,211	0,604	0,402
11	0,465	0,211	0,396	0,343
12	0,413	0,737	0,313	0,549
15	1,000	0,053	0,438	0,517
17	0,491	0,553	0,333	0,503
19	0,177	1,000	0,229	0,553
20	0,400	0,605	0,292	0,481

Для определения показателей эффективности обобщенного критерия оценивания различных методов была выполнена «свертка» вектора к скаляру с помощью вектора весовых коэффициентов важности ($1 \geq \delta_j \geq 0$), причем сумма коэффициентов важности равна единице. Показатель эффективности обобщенного критерия сложности маршрута

$$W = d_1 Y_{\text{сложность}}^* + d_2 Y_{\text{расход}}^* + d_3 Y_{\text{скорость}}^*$$

где d_1, d_2, d_3 – весовые значения компонентов вектора важности для сложности маршрута, расхода электроэнергии и эксплуатационной скорости.

Нами были рассмотрены различные приоритеты, основанные на мнении экспертов и на основании экономической оценки влияния каждого критерия. Например, для значений $d_1 = 0,45$; $d_2 = 0,45$; $d_3 = 0,1$ результаты расчетов обобщенного критерия сложности троллейбусных маршрутов (таблица 2) для июня определил к “простым” маршрутам – 2, 3, 5, а к “сложному” – маршрут 8. Коэффициент вариации в данном случае составил 35 %, что указывает на среднюю колеблемость обобщенного критерия сложности маршрута. Полученные результаты могут быть использованы для количественной классификации маршрутов по категориям сложности.

Научная новизна работы характеризуется:

– построением многофакторной модели обобщенного параметра сложности маршрута движения ГМТС на главных компонентах, отражающей влияние дорожных и транспортных условий;

Получено 14.06.2017

V. S. Mogila, S. A. Azemsha, V. N. Galushko. The generalized index definition of complexity for urban traffic route system of the city of Gomel.

The calculation of the generalized criterion for the complexity of trolleybus routes is given. This criterion supplemented by an algorithmic method for calculation of the complexity of the route, taking into account the average speed and the actual power consumption along the routes. The obtained results can be used for operative correction of the basic standards of technical operation, account the complexity of the urban transport route.

– уточнением классификации ГМТС по сложности, которая дополняет общепринятую классификацию условий эксплуатации, предусмотренную Положением о ТО и ремонте подвижного состава.

Предложенная методика ориентирована на комплексную оценку сложности работы водителей на маршруте. Комплексность оценки обеспечивается расчетом «обобщенного критерия», являющегося показателем мультипликативного типа (учитывающего следующие факторы: эксплуатационную скорость, протяженность маршрута, количество остановок, количество поворотов, перестроений, временем обратного рейса, профилем дорог, наполняемостью салона, косвенно учитывающий “пробки” и состояния дорог).

Практическая ценность заключается в разработке методики оперативного корректирования основных нормативов технической эксплуатации с учетом сложности маршрута движения городского транспорта.

Список литературы

- 1 Улицкая, И. М. Организация и оплата труда на предприятиях транспорта : учеб. для вузов / И. М. Улицкая. – М. : Горячая линия – Телеком, 2005. – 385 с.
- 2 Кулинцев, И. И. Экономика и социология труда / И. И. Кулинцев. – М. : Центр экономики и маркетинга, 2001. – 312 с.
- 3 Гарбер, А. Опыт маршрутного нормирования расхода топлива / А. Гарбер // Автомобильный транспорт. – 1985. – № 12. – С. 31.
- 4 Герониус, Б. Совершенствование системы технико-экономического нормирования / Б. Герониус // Автомобильный транспорт. – 1984. – № 3. – С. 47–49.

УДК 681.5

С. С. СУДАКОВ, С. А. АЗЕМША, кандидат технических наук, В. Н. ГАЛУШКО, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, С. Ф. МАСЛОВИЧ, кандидат технических наук, Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ГАИ Г. ГОМЕЛЯ ЗА СЧЕТ СОЗДАНИЯ WEB-СЕРВИСА

Разработанный сайт ГАИ г. Гомеля, включающий ГИС-сервис, топографический анализ ДТП и редактор мероприятий по повышению безопасности дорожного движения, позволит значительно повысить эффективность информирования граждан и снизит существующую нагрузку на сотрудников службы ГАИ.

Для ГАИ г. Гомеля авторами был разработан сайт, в который были включены ГИС-сервис, топографический анализ ДТП и редактор мероприятий по повышению безопасности дорожного движения (БДД). Главными целями данной работы являются повышение эффективности информирования граждан, снижение существующей нагрузки на сотрудников службы ГАИ, повышение безопасности движения. Данный сервис отличается оперативностью и масштабом подачи информации, наличием обратной связи, а также удобным интерфейсом донесения важной информации до широкого круга заинтересованных пользователей. Разработка является *актуальной*, так как до сих пор не существует отдельного сайта для г. Гомеля, обладающего подобной информацией, позволяющей познакомиться со структурой ГАИ, принять обращения граждан, правовому информированию, государственным услугам, статистике аварийности, местам концентрации ДТП и другим направлениям деятельности. Информация сайта может быть использована как водителями, так и работниками ГАИ, дорожными, городскими службами в целях планирования и оценки качества проводимых мероприятий, анализа аварийности и повышения БДД.

При разработке и наполнении ресурса учитывались мнения специалистов по данному профилю, изучен отечественный и зарубежный опыт на основании анализа

функционирующих сайтов службы ГАИ Беларуси, России, Армении, Грузии, Азербайджана, Польши, Сингапура и других государств.

На основе полученного материала был сформирован информационный базис сайта, который предоставляет сведения по следующим значимым тематикам (рисунок 1):

- структура ГАИ г. Гомеля, график работы подразделений, порядок приема граждан руководством по различным вопросам, связанным с направлениями деятельности службы;
- сведения об административных процедурах, осуществляемых службой ГАИ: регистрация ТС (необходимые документы, график проведения, стоимость услуг); экзаменационная деятельность (документы для получения, восстановления, обмена водительского удостоверения, талона к нему, стоимость услуг); предоставление учебного автомобиля (мотоцикла), автодрома для сдачи практического экзамена.
- состояние безопасности и аварийности в г. Гомеле и Гомельской области;
- нормативно-правовая база в области БДД (права и обязанности участников ДД, нормативные акты в данной сфере, ответственность за нарушения ПДД);
- новости и проводимые акции в области БДД, осуществляемые мероприятия по совершенствованию организации движения.



Рисунок 1 – Информационная структура сайта ГАИ г. Гомеля

Ниже рассмотрим более детально наполнение основных разделов сайта.

Раздел «Госавтоинспекция» включает в себя следующую информацию:

- график приема граждан руководством УГАИ Гомельского облисполкома;
- нормативно-правовые акты в сфере регулирования и организации дорожного движения (ДД);
- суточные сводки о состоянии БДД в г. Гомеле и Гомельской области.

Раздел «Участникам движения» содержит общие сведения о правах, обязанностях и ответственности для различных участников ДД, таких как пешеходы, пасса-

жиры, лица, осуществляющие пассажирские перевозки, перевозки крупногабаритных грузов и опасных грузов.

Также можно ознакомиться с информацией об ответственности за правонарушения в сфере ДД.

Раздел «Аналитика» осуществляет связь с геоинформационной системой (ГИС) ГАИ (рисунок 2). Инструментарий позволяет пользователям ознакомиться с аварийностью в г. Гомеле на основании карточек учета ДТП, полученных в соответствующих службах ГАИ. Добавление дорожных нарушений реализовано различными способами внесения, редактирования и удаления объектов на карте.

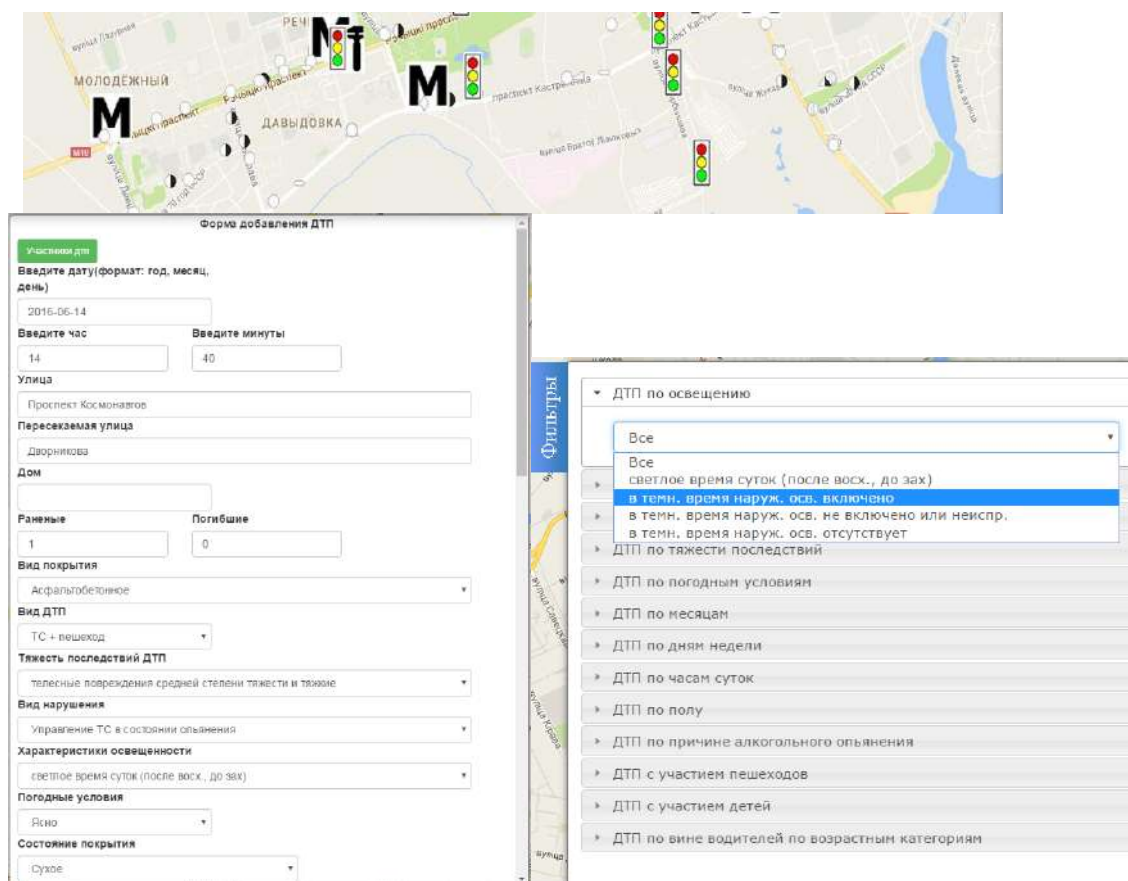


Рисунок 2 – ГИС ГАИ г. Гомеля

Данное приложение позволяет в достаточно полной мере оценить сложившуюся ситуацию и указать направления деятельности для ее урегулирования; показателем эффективного использования приложения может являться тенденция снижения количества ДТП и числа пострадавших в них людей; приложение должно стать основой для создания единой системы управления с целью мониторинга по основным направлениям аварийности, анализа детского дорожно-транспортного травматизма и мест концентрации ДТП.

Практическая значимость применения ГИС ГАИ состоит в оперативности и обоснованности принимаемых решений, направленных на повышение БДД на основе использования современных информационных технологий. Применительно к деятельности подразделений ГАИ система решает следующие задачи: формируется единое информационно-аналитическое пространство показателей ситуации в сфере обеспечения БДД; осу-

ществляется мониторинг показателей аварийности, анализ причин, фактов, времени и мест совершения ДТП, а также характеристик участников происшествий; анализируются места концентрации ДТП на дорогах; прогнозируются показатели БДД.

Для оценки эффективности внедренных мероприятий в ГИС реализован слой, позволяющий выявить очаги аварийности на основе количественного анализа и оценить эффективность проведенных мероприятий (см. рисунок 2).

Раздел «Обращение граждан» предоставляет возможность связаться с сотрудниками ГАИ Гомельской области и задать им интересующие вопросы электронным способом (рисунок 3).

В подразделе «Общий порядок» приводится информация о графике работы подразделений УГАИ УВД Гомельского облисполкома и их контактная информация.

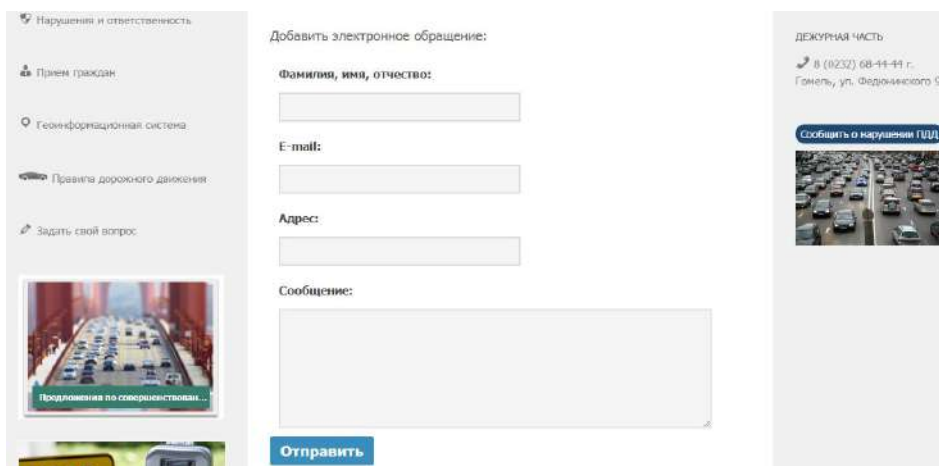


Рисунок 3 – Пример реализации раздела «Обращение граждан»

В разделе «Административные процедуры» предоставляется подробная информация о порядке проведения службой ГАИ административных процедур: регистрация транспортных средств; экзаменационная деятельность; дополнительные услуги гражданам и юридическим лицам;

В левой секции размещена ссылочная информация, позволяющая осуществить быстрый переход на следующие вкладки: о нарушениях и ответственности в области ДД; о времени приема граждан в ГАИ УВД Гомельского облисполкома; ГИС службы ГАИ; правила дорожного движения; электронное обращение.

Виджет «Предложения по совершенствованию орга-

низации дорожного движения» позволяет организовать взаимодействие граждан со службой ГАИ Гомельской области. С его помощью любой пользователь может сообщить о несоответствиях и нарушениях в сфере организации ДД. Элемент «Сообщить о нарушении ПДД» позволяет гражданам проинформировать службу ГАИ о правонарушении в сфере ДД с помощью заполнения соответствующей формы.

Под информационным слайдером размещена новостная лента событий, в которой описываются произошедшие за последний период важные события, актуальные сведения в области ДД (рисунок 4).

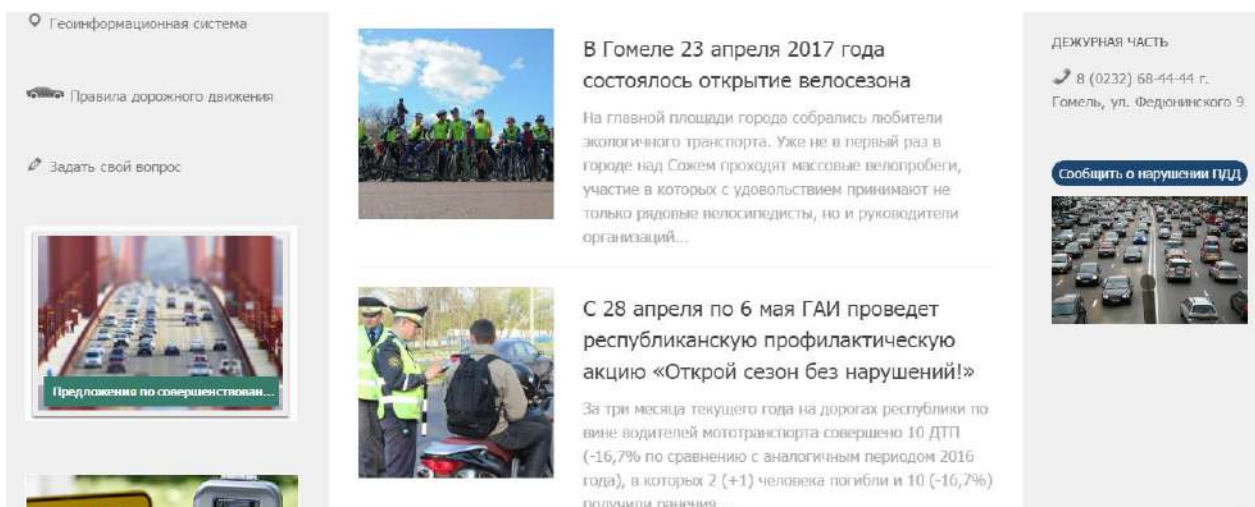


Рисунок 4 – Пример реализации новостной ленты событий

Данный сайт уже размещен и положительно прошел предварительное тестирование. Его внедрение позволит значительно повысить эффективность информирования граждан и снизит существующую нагрузку на сотрудников службы ГАИ. Информация сайта может быть использована как участниками ДД, так и дорожными, городскими службами в целях анализа аварийности,

планирования и оценки эффективности проводимых мероприятий по снижению аварийности. Инструментарий сайта дополняется новыми информационными и аналитическими возможностями на основании результатов научно-исследовательских работ авторов, кафедры «Организация дорожного движения» БелГУТа в сотрудничестве с ГАИ г. Гомеля.

Получено 01.09.2017

S. S. Sudakov, S. A. Azemsha, V. N. Galushko, S. F. Maslovich. Improvement of efficiency of DMV c. Gomel activity in the account of web service creation.

The developed site DMV of Gomel, which includes a GIS-service, topographical analysis of an accidents and the editor of measures to improve road safety, will significantly increase the effectiveness of informing citizens and reduce the existing burden on the traffic DMV.

УДК 681.5

С. Н. КАРАСЕВИЧ, кандидат технических наук, ОАО «Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта», г. Москва, С. А. АЗЕМША, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОРГАНИЗАЦИЯ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В КОНТЕКСТЕ ЦЕЛЕЙ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Устойчивое развитие – процесс экономических и социальных изменений, при котором эксплуатация природных ресурсов, направление инвестиций, ориентация научно-технического развития, развитие личности и институциональные изменения согласованы друг с другом и укрепляют нынешний и будущий потенциал для удовлетворения человеческих потребностей и устремлений. В сентябре 2015 г. государства – члены ООН приняли Повестку дня в области устойчивого развития на период до 2030 года. Составной частью Повестки являются 17 Целей устойчивого развития и 169 подчиненных им задач, которые необходимо достичь к 2030 году. Беларусь привержена осуществлению Повестки–2030 и уже предприняла ряд важных шагов для ее реализации на национальном уровне: назначен национальный координатор по достижению Целей устойчивого развития, сформирован Совет по устойчивому развитию. Организация дорожного движения – комплекс правовых, технических, организационно-распорядительных и других мер по обеспечению дорожного движения. Качество организации дорожного движения оказывает влияние на ряд сфер жизни современного человека. Улучшить организацию дорожного движения, а следовательно, и качество жизни граждан, можно внедрением принципов «зеленого градостроительства» и обеспечения «устойчивой мобильности» населения.

В статье рассмотрены актуальные вопросы повышения качества жизненного пространства в крупных городах с применением концепции устойчивого развития. Отмечено, что вопросы защиты окружающей среды в городах, обеспечения безопасности дорожного движения и эффективной системы организации дорожного движения носят глобальный характер. Сформированы практические рекомендации по повышению эффективности деятельности в сфере организации дорожного движения, основанные на внедрении принципов «зеленого градостроительства» и обеспечения «устойчивой мобильности» населения.

Вопросы защиты окружающей среды в городах, обеспечения безопасности дорожного движения (БДД) и эффективной системы организации дорожного движения (ОДД) носят глобальный характер и являются общим вызовом для многих городов, расположенных в странах с различными уровнями экономического и социального развития [1–5]. В связи с этими обстоятельствами в современном мире наблюдается устойчивая тенденция к росту важности внедрения «зеленых» технологий и проектных решений в градостроительстве и в сфере ОДД в целях создания комфортных условий для жизнедеятельности людей и защиты окружающей среды. Все это проявляется в формировании глобального «зеленого» курса устойчивого развития (построение и реализация принципов «зеленой экономики», «зеленого градостроительства» и «зеленого (устойчивого) транспорта»), который представляется весьма актуальным в качестве целевой установки для подходов к ОДД в городах.

Содействие появлению экогородов и полноценного «зеленого» тренда в современном градостроительстве и ОДД активно поддерживается в ряде стран специальными проектами ПРООН/ГЭФ, Всемирного банка, Евросоюза и других организаций. Данная практическая деятельность предусматривает разработку и широкое внедрение планов зеленого градостроительства, реализацию различных пилотных инициатив по применению новаторских способов ОДД, тесно связанных с повышением энергоэффективности, неразрушающим воздействием на человека и окружающую среду, построением т. н. «устойчивых городских транспортных систем».

На сегодня ни один город как в России, так и в Республике Беларусь полноценно не соответствует «зеленым» критериям устойчивого развития. Практика зеленого градостроительства и построения систем устойчи-

вого транспорта в городах крайне фрагментарна и малочисленна. В связи с этими обстоятельствами представляется весьма актуальной разработка и реализация на просторах Беларуси и России концепции (планов) зеленого градостроительства и построения устойчивых городских транспортных систем, в центре внимания которой следующие ключевые аспекты:

- определение понятия и критериев зеленого города и устойчивой городской транспортной системы;
- поддержка планирования и развития зеленых городов с системой устойчивого транспорта с учетом определения приоритетных направлений деятельности;
- анализ существующих нормативно-правовых актов в контексте критериев зеленого градостроительства и обеспечения устойчивой мобильности;
- внедрение (имплементация) лучших «зеленых» стандартов в градостроительной, транспортной деятельности, в сфере ОДД.

В сфере реализации градостроительной и транспортной политики важно организовать землепользование, социально-экономическую жизнедеятельность таким образом, чтобы минимизировать потребность в транспорте. Непосредственно на транспорте востребовано внедрение и использование энергосберегающих видов общественного пассажирского транспорта.

Представляется, что при проектировании улично-дорожной сети в городах и за их пределами все крупные объекты должны проходить экологическую экспертизу. Должна действовать единая система расчетов экологического ущерба, определения компенсации за вред, нанесенный экологии, а также порядка возмещения ущерба, которая в настоящее время отсутствует.

Востребован глубокий общесистемный анализ прогрессивного мирового опыта в сфере обеспечения устойчивой мобильности и разработка руководства по

зеленому (устойчивому) транспорту для городов и сельских поселений, включая методики оценки эффективности ОДД и мониторинга снижения выбросов парниковых газов за счет реализации мер по обеспечению устойчивой мобильности в городах и поселениях. В центре внимания ОДД лежит переход к зеленым городам, устойчивой и безопасной мобильности.

В условиях неуклонного роста уровня автомобилизации населения особенно насущными являются мероприятия по ОДД, направленные на обеспечение устойчивой мобильности в городах, повышение БДД, привлекательности, демократизацию и гуманизацию пространств улиц. При этом актуальной является задача разработки проектных решений, которыми в совокупности достигается сочетание эффективности транспортных решений и превосходного общего городского облика улиц. Благоустройство улицы и дизайн ее пространств играет очень важную роль для обеспечения БДД и рассматривается как средство влияния на режимы движения автотранспортных средств.

Многофункциональная загруженность центров многих городов, не сравнимая по своей величине с загруженностью других сопоставимых административных территорий, обуславливает их высокую привлекательность для целевых поездок населения. При этом сложившаяся уличная сеть городских центров зачастую не справляется с возросшими автотранспортными потоками, что приводит к возникновению ряда острых транспортных проблем и снижению качества городской среды для передвижений. Эти проблемы в городских центрах обусловлены изначальной планировкой городских агломераций без учета возможности широкого использования большого количества автомобилей.

Учитывая складывающуюся дорожно-транспортную ситуацию и, как правило, многофункциональную и уникальную историческую специфику городских центров, проектные решения, направленные на сдерживание автомобильной мобильности посредством организации приоритетного движения общественного транспорта и формирования комфортной среды для немоторизированных способов передвижения представляются оправданными и в полной мере соответствуют современному формату организации мобильности в городе.

Однако важно понимать, что избыточное подавление интенсивности автомобильных потоков на улицах и проспектах посредством сокращения полос движения и их сужения без должного развития систем и инфраструктуры общественного пассажирского транспорта ведет к неэффективности. Поэтому в проектных решениях должны быть предусмотрены достаточные компенсационные меры, обеспечивающие наличие надежно действующей системы общественного пассажирского транспорта, обслуживающего объекты притяжения. Разрабатываемый комплекс компенсационных мер должен учесть и удовлетворить требуемые объемы транспортного спроса и обеспечить необходимую пропускную способность путей сообщения.

В современных условиях во многих случаях проектные решения должны быть направлены на оздоровление окружающей среды посредством масштабного озеленения, улучшения качественных характеристик пешеходной инфраструктуры, преодоления образовавшегося дисбаланса между разными видами перемещений (пе-

шеходным и автомобильным движением), создание более комфортной и безопасной среды обитания участникам дорожного движения и улучшение визуального облика улиц. В данном случае социально значимые ценности доминируют над проектными решениями, предусматривающими неограниченный доступ индивидуальных автомобилей в уличное пространство. При этом актуальна и должна позиционироваться общая целевая установка на уменьшение транзитной роли уличной сети городского центра в транспортной системе города, что способствует снижению уровня отрицательного воздействия автомобильного транспорта на городскую среду на данной территории.

Комфортность урбанизированной среды в значительной степени определяется наличием развитой системы пешеходных связей и пространств. Уличная сеть центров городов в сочетании с примыкающими переулками, как правило, представляет несомненный интерес для пешеходов и велосипедистов. Поэтому в проектных решениях должно быть уделено достаточное внимание развитию пешеходных пространств и учтены потребности маломобильных категорий населения. При этом актуальна реализация концептуальных идей по конструктивному обособлению транспортных и пешеходных путей сообщения.

В ходе разработки проектных решений должно быть предложено четкое функциональное зонирование автомобильных путей сообщения, пешеходной и велосипедной зон, элементов безбарьерной среды, концепция озеленения и дизайна. Применение унифицированных типовых конструкций и материалов создает благоприятный контраст фонов, четкое зонирование и обеспечивает создание единого стиля городского окружения на рассматриваемой территории. Например, озеленение в буферной зоне обособляет пешеходную зону от автомобильной, возвращает прогулочную функцию улице.

Концептуальная направленность на активизацию пешеходного движения на улице и создание более комфортных и безопасных условий для передвижений пешком способствует развитию туристических, культурных и других функций улиц в городской среде. Выполненный анализ видов активности и приоритетов пешеходов на улице должен качественно отражать актуальность и целесообразность предложенных концепций и проектных решений.

Развитие пешеходных пространств может достигаться посредством расширения тротуаров, организации рекреационных зон, рационализации (упорядочения) и перераспределения парковочных мест, сужения проезжей части и другими способами. Актуально появление (создание) пересечений улиц нового типа в виде пространств совмещенного использования пешеходами, велосипедистами и автотранспортом, которые хорошо зарекомендовали себя в ряде городов России и за рубежом [4].

Приподнятое над уровнем проезжей части пространство совмещенного использования, которое одновременно с этим расположено в одном уровне с тротуаром, способствует сдерживанию скорости движения автомобилей, и данная мера обеспечит дополнительную безопасность пешеходов и велосипедистов в узлах. В пространствах совмещенного использования могут эффективно предусматриваться заградительные столбики

(болларды) с подсветкой, обеспечивающие БДД и направляющие движение пешеходов.

Аналогичным образом принудительное сдерживание скорости движения автомобилей может достаточно эффективно поддерживаться устройством приподнятого на уровень тротуара пешеходного перехода.

Для уличной сети малых и средних городов актуально введение ограничения максимальной скорости движения автотранспортных средств до 50 км/ч и менее, что оправдано практикой ОДД и способствует снижению тяжести последствий в случае ДТП, в особенности связанных с наездами автомобилей на пешеходов и велосипедистов.

С позиций обеспечения БДД следует обеспечить соблюдение требуемых условий видимости транспорта и пешеходов во всех конфликтных зонах. В проектных решениях следует адекватно учесть сезонность социальной активности пешеходов и велосипедистов.

Нередко, когда сложившиеся условия дорожного движения на улице характеризуются тесненными условиями движения пешеходов из-за несоответствия интенсивности пешеходного потока пропускной способности тротуаров на линейном участке, отмечается конфликтное (потенциально опасное) взаимодействие автотранспорта и пешеходов как на линейном участке улицы, так и в узлах (на перекрестках и т. д.) вследствие наличия недостаточно ограниченного доступа автомобилей к территориям пешеходных пространств. С учетом данных обстоятельств должен быть предусмотрен ряд проектных решений, которые реализуются посредством физических мер, направленных на предотвращение случайного или намеренного проникновения автотранспортных средств на территорию пространств для пешеходов и велосипедистов. Эти меры служат для обеспечения приоритетного и безопасного движения незащищенных участников движения.

В центре внимания находится построение и формирование общей безбарьерной среды на рассматриваемых линейных объектах, а именно доступных логистических путей и цепочек передвижений ко всем объектам притяжения для лиц, обладающих ограниченной мобильностью. Для данной категории участников движения важно применение соответствующих технических средств (визуальных и звуковых указателей и средств, устройство тактильных плит, пандусов и т. д.) на проектируемых объектах.

Должна решаться задача обеспечения надлежащей интуитивной навигацией пешеходов на улицах и примыкающих к ним переулках, т. е. организация направлений пешеходного перемещения по специально обустроенному для данных целей пространству, а также ограничений присутствия пешеходов на отдельных опасных участках, либо участках, не предназначенных для пешеходного перемещения. Направление движения потока пешеходов может быть удачно организовано с помощью разных типов мощения, а также ограждающих конструкций, возможно, зеленой изгороди (элементов контейнерного озеленения) и других малых архитектурных форм. При этом инструменты интуитивной навигации не должны создавать препятствий для свободного перемещения пешеходов на территориях свободных пространств, включая маломобильные группы населения.

Важным аспектом является наличие велоинфраструктуры – велодорожек и велопарковок. Вырабатываемыми проектными решениями должна быть обеспечена необходимая непрерывность велосипедных связей в периметре проектирования, а также учтены перспективы развития данных связей. Следует обеспечить интеграцию проектируемых велосипедных маршрутов в единую непрерывную городскую сеть. Велопарковки целесообразно предусмотреть у всех номенклатурных объектов притяжения велосипедов по маршрутам следования. Дислокация приобъектовых велопарковок может быть оптимизирована в дальнейшем в заявочном режиме. При планировании велосипедной парковок необходимо предусмотреть достаточно места для того, чтобы, не создавая помех другим участникам движения, велосипедисты могли спешиться, разгрузить свои велосипеды, а отъезжая – погрузить багаж и начать движение. Велопарковки целесообразно предусмотреть в конструктивном исполнении, обеспечивающем защиту от атмосферных осадков.

Перестройка уличной сети городов с учетом приоритетов и интересов пешеходов и велосипедистов – это современный мировой тренд. Изменения, связанные с развитием инфраструктуры для активных пеших прогулок и поездок на велосипеде, эффективно обеспечивают снижение зависимости от использования индивидуальных автомобилей и стимулирование экологичной мобильности.

Зачастую уличная сеть обладает значительным туристическим потенциалом. Создание вело-пешеходных пространств с высоким уровнем качества среды во многом способствует развитию позитивной социальной активности на улицах, повышению их привлекательности для горожан и уровня БДД. В комбинации с привлекательными общественными пространствами, объединяющими объекты историко-культурного наследия и зеленые области, вело-пешеходные пространства организуют и гармонизируют среду городских улиц.

Необходимо помнить о том, что наличие дополнительных благоустроенных парковочных мест на уличной сети также имеет большую практическую значимость и полезность. В рамках формирования парковочного пространства на улице следует учесть изменения попадания солнечного света (затененности мест парковки) на припаркованные автотранспортные средства в зависимости от времени года, что является значимым фактором.

Сложившаяся практика свидетельствует о том, что дерегулирование и свободный доступ к инфраструктуре в условиях дефицита пропускной способности сети в крупных городских агломерациях нерациональны. Следует позиционировать стандартный для мировой практики принцип: «свобода перемещений, а также свобода доступа к территориям общего пользования распространяется на физических лиц, но не на принадлежащие этим лицам транспортные средства». Вследствие высокой концентрации различных объектов притяжения и деловых активностей в городских центрах создание ограничительных условий использования автомобилей, обладающих низкими провозными возможностями, является весьма актуальной практической задачей.

Дорожное движение в значительной степени является саморегулируемой системой, и можно ожидать отно-

сительно быструю адаптацию к новым условиям движения в результате реализации предложенных проектных решений по преобразованию (реорганизации и реконструкции) уличных пространств в городах.

Перспективная оптимизация проектных предложений по благоустройству уличной сети городов по части транспортных решений представляется целесообразной на основе применения средств компьютерного моделирования движения потоков транспорта и пешеходов на проектируемых объектах. Реализация данного подхода позволит повысить совокупное качество принятых решений за счет объективной оценки и надежных прогнозов развития дорожно-транспортной ситуации, что, в конечном счете, даст возможность своевременно принять необходимые корректирующие воздействия [5].

Таким образом, в результате проведенного исследования авторами сформированы практические рекомендации по повышению эффективности деятельности в сфере ОДД, основанные на внедрении принципов «зеленого градостроительства» и обеспечения «устойчивой мобильности» населения.

Список литературы

1 Карасевич, С. Н. Определение динамики социальных и транспортных рисков аварийности в субъектах Российской Федерации / С. Н. Карасевич, С. А. Аземша // Проблемы безопасности на транспорте : материалы V Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 25–26 ноября 2015 г. / Белорус. гос. ун-т трансп.; редкол.: В. И. Сенько [и др.]. – Гомель, 2015. – С. 125–127.

2 Карасевич, С. Н. Развитие принципов и подходов к обеспечению устойчивой городской мобильности и безопасности дорожного движения / С. Н. Карасевич // Проектирование эффективных систем организации дорожного движения : сб. докладов науч.-практ. конф., 7 декабря 2016 г.; редкол.: В. В. Донченко [и др.]. – МАДИ; ГТУ, 2016. – С. 14–15.

3 Карасевич, С. Н. Снижение потерь в дорожном движении применением в планировочной практике зон успокоения движения / С. Н. Карасевич // Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса : материалы II Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 27–28 окт. 2012 г. / Белорус. гос. ун-т трансп.; редкол.: В. И. Сенько [и др.]. – Гомель : БелГУТ. – 2012. – С. 66–67.

4 Карасевич, С. Н. Применение зон совмещенного использования для повышения качества организации дорожного движения в городах / С. Н. Карасевич // Транспортное планирование и моделирование : сб. науч. трудов Междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 26–27 мая 2016 г.; редкол.: А. И. Солодкий [и др.] / Ассоциация транспортных инженеров (АТИ), Санкт-Петербургский гос. архит.-строит. ун-т (СПбГАСУ). – СПб., 2016. – С. 67–73.

5 Карасевич, С. Н. Развитие проектных решений по формированию качества уличных пространств и мобильности в городах / С. Н. Карасевич // Организация и безопасность дорожного движения : материалы X науч.-практ. конф. (с междунар. участием). В 2 т., Тюмень, 16 марта 2017 г.; отв. ред.: Д. А. Захаров [и др.]. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2017. – С. 197–202.

6 Резолюция Генеральной ассамблеи ООН A/res/70/1 от 25 сентября 2015 года. – Режим доступа : <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N15/291/92/PDF/N1529192.pdf?OpenElement>. – Дата доступа: 20.07.2017.

Получено 01.09.2017

S. N. Karasevich, S. A. Azemsha. Road traffic management in the context of sustainable development goals.

Sustainable development is a process of economic and social change in which the exploitation of natural resources, the direction of investment, the orientation of scientific and technological development, personal development and institutional changes are coordinated with each other and strengthen the present and future potential to meet human needs and aspirations. In September 2015, the UN member states adopted the Agenda for Sustainable Development for the period until 2030. The Integral part of the Agenda is 17 Sustainable Development Goals and 169 subordinate tasks, which must be achieved by 2030. Belarus is committed to the implementation of Agenda 2030 and has already taken a number of important steps to implement it at the national level: a national coordinator has been appointed to achieve the Sustainable Development Goals, and the Council for Sustainable Development has been formed. Organization of traffic – a set of legal, technical, organizational and administrative and other measures to ensure traffic. The quality of traffic management has an impact on a number of areas of life of modern man. Improve the organization of traffic, and therefore, the quality of life of citizens, can be implemented by the principles of "green urbanism" and ensuring "sustainable mobility" of the population.

The article discusses topical issues of improving the quality of living space in large cities using the concept of sustainable development. It was noted that the issues of environmental protection in cities, ensuring road safety and an effective system of road traffic management are of a global nature. Practical recommendations on increasing the efficiency of activities in the field of road traffic organization were drawn up, based on the introduction of the principles of "green urban planning" and ensuring "sustainable mobility" of the population.

УДК 625.7

П. В. КОВТУН, кандидат технических наук, Д. Ю. АЛЕКСАНДРОВ, старший преподаватель, Ю. Н. ШВАЧИЧ, магистрант, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕУСТРОЙСТВА ПЕРЕСЕЧЕНИЙ ГОРОДСКИХ УЛИЦ

Установлены основные причины несоответствия элементов улично-дорожной сети городов постсоветского пространства современному уровню автомобилизации населения. Выделены основные факторы, усложняющие процесс совершенствования элементов улично-дорожной сети городов. На примере пересечения улиц Каменщикова и Мазурова (Огоренко) г. Гомеля приведены результаты расчета степени опасности пересечения и определены причины, влияющие на аварийность пересечения. Рассмотрены основные способы снижения аварийности на пересечении и приведены основные рекомендации по переустройству существующего пересечения в кольцевое. Определены критерии, влияющие на процесс принятия решений при разработке рационального варианта переустройства пересечения. Представлены перспективные конструкционные и технологические решения, направленные на повышение безопасности дорожного движения на переустраиваемом пересечении и снижение стоимости переустройства в долгосрочной перспективе.

Города постсоветского пространства по мере своего развития неизбежно сталкиваются с различными рода транспортными проблемами, связанными с ростом автомобилизации населения. Согласно данным Национального статистического комитета Республики Беларусь число легковых автомобилей, находящихся в личной собственности граждан, составило на конец 2016 года 2951,4 тыс. шт. Динамика изменения численности легковых автомобилей (рисунок 1) свидетельствует о постоянном увеличении уровня автомобилизации населения. Негативные тенденции, преобладавшие в экономике Республики Беларусь в 2011–2012 годах, замедлили темпы роста автомобилизации, однако с начала 2014 г. можно наблюдать восстановление темпов роста. По числу автомобилей на 1 тысячу человек (по состоянию на 2014 год – 291 шт.) Беларусь находится в пятом десятке мирового рейтинга, опережая все страны СНГ.

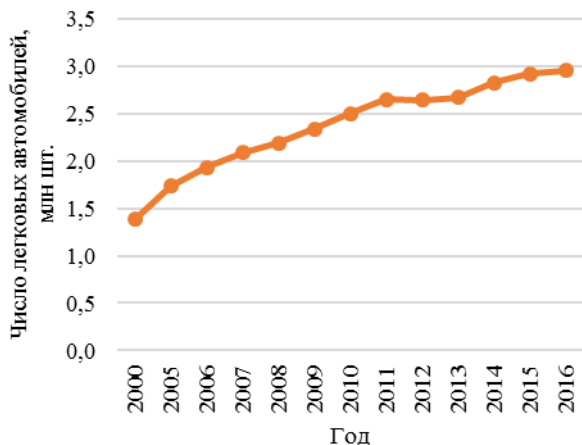


Рисунок 1 – Динамика изменения числа легковых автомобилей в Республике Беларусь с 2000 по 2016 год

Крупные города Беларуси имеют почти тысячелетнюю историю и сложившуюся историческую застройку, многие объекты которой имеют статус объекта историко-культурного наследия. В то же время отсутствие объездных автомобильных дорог (или наличие только их фрагментов) и сосредоточенность различных предприятий и организаций в центре города приводят к тому, что потоки индивидуального и пассажирского транспорта в большинстве своем следуют именно через центральную

часть города, транспортная инфраструктура которой физически не может обеспечить необходимые режимы движения транспортных средств. С другой стороны, прогнозируемые советскими инженерами и учеными-дорожниками СССР показатели уровня автомобилизации, которые использовались проектными институтами при разработке проектов улично-дорожной сети (в том числе и новых микрорайонов), не соответствуют современным реалиям. Порой реальные и прогнозируемые показатели на порядок отличаются. Всё это приводит к возникновению заторов и многочисленных дорожно-транспортных происшествий при резком изменении погодных условий.

Для решения этих проблем могут использоваться различные методы, которые можно разделить на две большие группы:

- совершенствование элементов улично-дорожной сети (переустройство пересечений, увеличение числа полос движения, строительство многоуровневых эстакад и развязок и т. д.);
- организационно-правовые методы (различные методы организации дорожного движения, ограничение въезда транспортных средств в центральную часть города, развитие системы городского общественного транспорта, стимулирование использования общественного транспорта и т. д.).

Методы первой группы чаще всего применяются в городах, впервые столкнувшихся с рассмотренными выше проблемами, и в тех случаях, когда это возможно с учетом высокой плотности городской застройки. Крупнейшие мегаполисы практически исчерпали возможность совершенствования улично-дорожной сети, и в этих городах используются методы второй группы, что зачастую вызывает недовольство некоторой части населения.

В г. Гомеле, который относительно недавно столкнулся с транспортной проблемой, связанной с высоким уровнем автомобилизации населения, активно используют методы первой группы: переустраиваются пересечения (ул. Кирова), расширяются улицы (связывающие, например, улиц Кирова и Советскую и т. д.), строятся новые участки (между ул. Докучович и Полесской) и т. д. Причем популярное за рубежом решение [1], при котором существующее пересечение перестраивается в кольцевое, только недавно начало широко применяться

проектными институтами Беларуси. Однако не всегда успешно. Устройство кольцевых пресечений на ул. Кирова трудно назвать полностью успешным. Плотная застройка не позволила в полной мере реализовать положительные стороны таких пересечений и привела к ограничению движения крупногабаритных транспортных средств. Однако всё же позволила нормализовать режимы движения транспортных средств. Другим положительным аспектом является определение четкого ряда вопросов и проблем, связанных с выбором рационального варианта переустройства пересечения. Например, пересечения с малым радиусом центрального островка (аналоги кольцевых пресечений на ул. Кирова) используются и за рубежом. Проблема пропуска крупногабаритного транспорта там решена достаточно успешно. В отличие от приподнятого над уровнем проезжей части центрального островка (рисунок 2), в некоторых странах центральный островок графически изображается на проезжей части и служит ориентиром для легковых автомобилей (рисунок 3), в то время как крупногабаритные транспортные средства имеют возможность проезда по центральному островку [1].



Рисунок 2 – Пересечение улиц Кирова и Красноармейской, г. Гомель



Рисунок 3 – Кольцевое пересечение с малым радиусом центрального островка (Minikreisel) в Германии

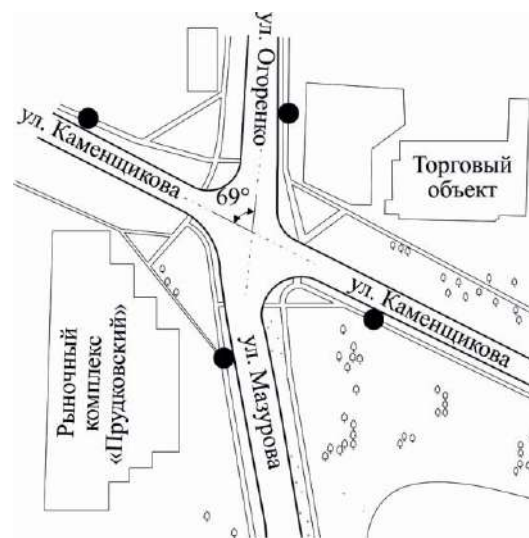
Кольцевые пересечения имеют ряд преимуществ [2]:

- имеется возможность рациональной организации движения при пересечении в одной точке более четырех дорог;
- отсутствуют затраты на регулирование движения;
- уменьшение числа конфликтных точек – точек пересечения и слияния потоков (для традиционного пересечения можно выделить 36 конфликтных точек, а для кольцевого – 8);
- низкая относительная скорость движения и острые углы слияния (переплетения) на кольцевом пересечении способствуют большей степени безопасности движения;
- потери времени автомобилями значительно меньше, чем на обычных пересечениях в одном уровне;

– схема движения на пересечении проста и понятна водителям;

– обеспечиваются лучшие условия для выполнения левоповоротного маневра по сравнению с другими типами пересечений в одном уровне.

В г. Гомеле имеется достаточное число пресечений, которые необходимо переустроить в кольцевые в силу ряда причин, самой важной из которых является обеспечение безопасности движения, например, пересечение улиц Каменщикова и Мазурова (Огоренко). Это пересечение имеет сложную геометрию (рисунок 4). Оси улиц пересекаются под углом 69° . Самой высокой точкой пересечения является ось пересекающихся дорог. Остановки общественного транспорта расположены достаточно близко к центру пересечения. По данным ГАИ на указанном пересечении за последнее десятилетие произошло 17 дорожно-транспортных происшествий. Причем некоторые из них получили широкую огласку в средствах массовой информации, как например, ДТП, произошедшее 27 августа 2014 года, когда управляемый «бесправником» автомобиль выехал на тротуар и сбил двух пешеходов, один из которых скончался на месте.



● – остановочные пункты общественного транспорта

Рисунок 4 – Фрагмент участка улично-дорожной сети г. Гомеля

Критериями, служащими основанием для переустройства пересечения, являются: интенсивности движения на пересекающихся улицах; распределение автомобилей по направлениям (поворачивают налево, направо или едут прямо); углы, под которыми пересекаются траектории транспортных средств. Согласно методике, изложенной в [3], рассмотренное пересечение относится к очень опасным и нуждается в переустройстве. В Республике Беларусь отсутствуют нормативные документы, регламентирующие проектирование кольцевых пересечений при новом строительстве и переустройстве в городских условиях. Существует технический нормативно-правовой акт, регламентирующий проектирование пересечений на автомобильных дорогах общего пользования, однако даже там кольцевым пересечениям уделено мало внимания, нет подробных рекомендаций и примеров.

Обобщая накопленный опыт переустройства городских пересечений (в том числе и в кольцевые), можно выделить следующие критерии, влияющие на процесс принятия решений при выборе рационального варианта: пропускная способность (P), степень аварийности (G), затраты на переустройство пересечения (C) и степень экологического загрязнения (S). При этом при выборе рационального варианта необходимо соблюдение следующих условий:

$$P \rightarrow \max; G \rightarrow \min; C \rightarrow \min; S \rightarrow \min.$$

Перечисленные критерии имеют различный вес в зависимости от внешних факторов. В благоприятных условиях критериями первого порядка можно назвать пропускную способность и степень аварийности, после пересечение оценивается по затратам на переустройство. При ограниченном финансировании и необходимости переустройства критерием первого порядка будет являться стоимость переустройства. Экологический критерий стоит рассматривать отдельно от всех остальных, так как важно не допустить достижения предельных уровней шума или концентраций вредных веществ.

Пропускная способность кольцевого пересечения определяется его геометрическими параметрами. Достаточно большой диаметр центрального островка и несколько полос движения позволяют обеспечить достаточно высокую скорость прохождения пересечения и, как следствие, максимальную пропускную способность.

При определении ширины полосы движения, которая в большинстве случаев назначается без расчета, необходимо учитывать все крупногабаритные транспортные средства, которые будут проезжать по пересечению. В этом случае необходимо определять габаритную полосу движения – площадь дорожного полотна, ограниченная проекциями траекторий движения крайних габаритных точек транспортного средства [4]. Ни в Республике Беларусь, ни в Российской Федерации данные расчеты не производятся. Габаритная полоса движения может быть в два или три раза больше назначаемой полосы движения, при этом чем меньше радиус центрального островка, тем больше ширина габаритной полосы движения. Важное значение расчет габаритной полосы движения приобретает с увеличением интенсивности движения. При малых интенсивностях можно допустить, что рядом с крупногабаритным транспортным средством в момент проезда по пересечению не находится ни один другой автомобиль и оно может занимать всю ширину полотна. С увеличением интенсивности возрастает плотность потока и вероятность того, что ширины полотна окажется недостаточно. Получить коридор движения транспортного средства можно с использованием системы автоматизированного проектирования IndorCAD Road, однако эта система автоматизированного проектирования не применяется в Республике Беларусь, потому что по более широкому спектру критериев уступает отечественной системе Credo Дороги.

Получено 16.10.2017

P. V. Kovtun, D. Yu. Aleksandrov, Yu. N. Shvachich. The problems of the reconstruction of city streets intersections.

The main reasons for the discrepancy between the elements of the street network in the post-Soviet cities and the current level of mass automobilization were established. The main factors that complicate the process of modernization of the elements in cities' street network were identified. On the example of Kamenshikov and Mazurov (Ogorenko) streets intersection, the results of the valuation of danger crossing rate were given and the reasons that impact on the accident rate on the crossing were determined. The main methods of reducing the accident rate on the crossing were considered and the main recommendations on the reorganization of the existing intersection into the ring one were given. The criteria that influence the decision-making process in the development of a rational variant for the reorganization of the intersection were determined. The perspective constructional and technological solutions, aimed at increasing road safety on the intersection that is being reorganized and reducing the cost of reconstruction in the long term were presented.

Степень аварийности для кольцевых зависит от радиуса центрального островка и интенсивности потока. Потому минимизация степени аварийности достигается увеличением радиуса центрального островка.

Минимизировать стоимость производства работ можно за счет использования материалов на отходах промышленности или местных материалах, а также за счет применения решений, которые в долгосрочной перспективе потребуют меньших затрат. Можно совмещать в одной конструкции дорожной одежды цементобетон, срок службы которого достигает 50 лет, и песчаный асфальтобетон [5], который будет выполнять функции тонкого защитного слоя, предотвращающего разрушительное воздействие транспортной нагрузки и климатических факторов.

Переустройство пересечений в городских условиях – достаточно трудоемкий процесс, связанный с большим числом влияющих факторов и вариативностью подходов (т.е. учетом всех возможных альтернативных вариантов) к решению конкретных задач. Выбор рационального варианта в таком случае осуществляется на основании ряда критериев, значимость которых также зависит от большого числа внешних факторов. Разработка нормативного документа, регламентирующего процесс принятия переустройства, весьма затруднительна. Большую практическую значимость будет иметь использование проектов-аналогов и современных достижений, касающихся вопросов переустройства пересечений. В этом случае важнейшая роль отводится специалисту-дорожнику, который, основываясь на знаниях и опыте, будет определять рациональный вариант переустройства на основе технико-экономического сравнения вариантов.

Список литературы

- 1 Опыт применения мини-кольцевых пересечений в Европе, Аляске и Канаде / И. А. Аникина [и др.] // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2015. – № 8(1). – С. 841–846.
- 2 Гохман, В. А. Пересечения и примыкания автомобильных дорог : учеб. пособие для автомоб.-дор. спец. вузов / В. А. Гохман, В. М. Визгалов, М. П. Поляков. – М. : Высш. шк., 1989. – 320 с.
- 3 Методические рекомендации по организации дорожного движения : ДМД 02191.3.022–2011 : утв. Департаментом «Белавтодор» М-ва трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь 03.03.11. – Минск, 2011. – 59 с.
- 4 Елугачёв, П. А. Обоснование ширины и количества полос движения на кольцевых пересечениях автомобильных дорог / П. А. Елугачёв, М. А. Катасонов, М. А. Елугачёв // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2013. – № 1(1). – С. 24–28. – DOI: 10.17273/CADGIS.2013.1.5.
- 5 Александров, Д. Ю. Перспективы применения комплексно-модифицированного песчаного асфальтобетона в дорожном строительстве / Д. Ю. Александров // Наука и техника. – 2017. – № 16(4). – С. 315–323. – DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-4-315-323.

УДК 656.052:656.224

Т. А. ВЛАСЮК, кандидат технических наук, А. А. МИХАЛЬЧЕНКО, кандидат технических наук, О. А. ХОДОСКИНА, магистр экономических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ СМЕШАННЫХ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ ТРАНСПОРТА

Рассмотрены актуальные проблемы оптимального развития логистики смешанных пассажирских перевозок в региональном сообщении, адаптации транспортных систем страны и производства на транспорте. Выделены главные направления по преодолению ограничений в работе различных видов транспорта при выполнении смешанных региональных перевозок различными видами транспорта на примере Гомельского региона.

Пригородные пассажирские перевозки на всех видах транспорта в последнее время становятся менее популярными не только в Республике Беларусь, но и в большинстве стран мира. Это связано с рядом причин: 1) высокий уровень автомобилизации населения привёл к появлению пробок на автомобильных дорогах, из-за чего увеличивается продолжительность поездки, а её выполнение носит менее комфортный характер; 2) увеличение количества малообеспеченных граждан и снижение их платежеспособности; 3) появление населенных пунктов-спутников (спальных или промышленных зон, расположенных от основных городов на расстоянии до 50 км) привело к переходу пригородного пассажира на автомобильный транспорт; 4) низкая стабильность выполнения перевозок (не всегда есть гарантии отправления или прибытия в конкретное время, требуемое для пассажира); 5) переход части пассажиров с пригородного на другие виды сообщения (использование поездов нового поколения для короткопробежных поездок – 50–100 км, которые раньше выполнялись в пригородных поездах). В совокупности с приведенными факторами за последние 15 лет получена негативная динамика объема железнодорожных перевозок пассажиров в пригородном сообщении (начиная с 2011 г. – региональном) рисунок 1.

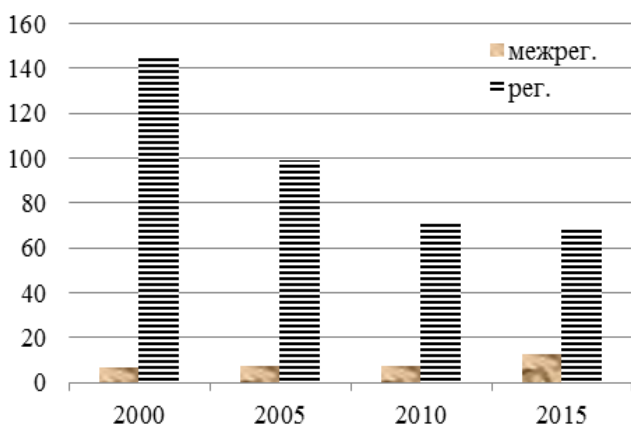


Рисунок 1 – Динамика количества перевезенных пассажиров по железной дороге

Из приведенной диаграммы видно, что имеет место существенное падение объема железнодорожных перевозок пассажиров в региональном сообщении. У бли-

жайшего конкурента железнодорожного транспорта – автомобильного, ситуация не лучше. Но она сглаживается за счет снижения количества льгот для пассажиров. В результате динамика перевозок пассажиров несколько более благоприятная (рисунок 2).

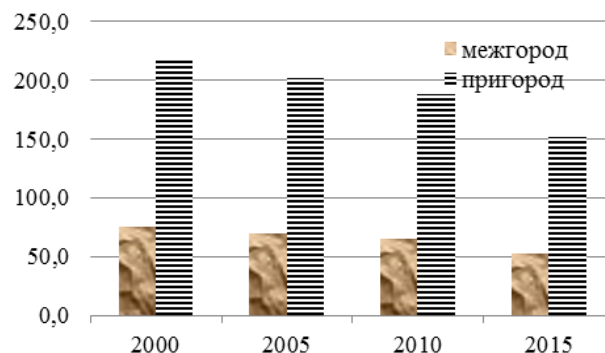


Рисунок 2 – Динамика количества пассажиров, перевезенных автобусами

Из приведенной диаграммы видно, что за последние 15 лет пригородные перевозки на автотранспорте практически стабильны.

Важным моментом является приведение юридических основ, определяющих виды перевозок на всех видах транспорта, к единым понятиям. Сегодня на железной дороге пригородная перевозка называется региональной, хотя не оговорены границы или протяженность региона. В старом понятии пригородная перевозка имела протяженность 150 км. На автотранспорте пригородная перевозка обозначена как перевозка пассажиров в пригородных зонах городов, а расстояние перевозки не оценивается. В результате номинальная пригородная перевозка на железнодорожном транспорте может быть от 25 км (Гомель – Добруш) до 202 км (Брест Центральный – Барановичи Полесские). На автотранспорте тот же маршрут Гомель – Добруш является уже междугородним (межрегиональным). Поэтому есть смысл юридически устанавливать европейскую классификацию регионального маршрута (в границах Гомельского региона независимо от протяженности маршрута). При выходе маршрута за пределы региона он должен выполняться по стандарту межрегионального с соответствующей градацией и методикой формирования тарифов как для железнодорожного, так и автомобильного транспорта. С учетом поставок транспортных средств

для реализации различного уровня комфорта поездки пассажиров необходимо также вводить классы обслуживания: бизнес, эконом, бюджетная перевозка, что обеспечит транспортную доступность всех слоёв населения региона. Это поэтапно позволит исключить льготированный проезд граждан, что обеспечит условия полной окупаемости затрат на выполнение региональных перевозок пассажиров.

На развитие региональных пассажирских перевозок оказывает влияние активная урбанизация населения. С учетом интеграции производственных предприятий в малых и средних городах в последние годы возросли пассажиропотоки трудовых передвижений населения.

В целях поддержания стабильности региональных перевозок пассажиров при их организации необходимо установить пределы устойчивости, чтобы они зависели от прикладываемых к ним внешних воздействиям, а не от сложившегося состояния, в котором они первоначально находились. Система региональных перевозок пассажиров считается устойчивой, когда её переменные значения изменяются в конечных границах независимо от внешнего воздействия. При наличии различного класса обслуживания пассажиров в региональном сообщении (на железной дороге – эконом- и бизнес-класс, при перевозке автобусами – в мягком, жестком, экспрессе) устойчивость системы перевозок определяется доходами от их выполнения. В течение рассматриваемого периода времени доход каждой группы перевозок потребляется на покрытие издержек $E_{п}(t_{0+k})_j$ рассматриваемого вида транспорта по элементам затрат (заработная плата, топливо, электроэнергия и др.), перечисляется в налоги $\pi(t_{0+k})$ и инвестируется в инфраструктуру и транспортные средства $F_{инв}(t_{0+k})$. Ожидаемое конечное состояние системы пригородных перевозок на j -м виде транспорта

$$Z_j(t_k) = E_{п}(t_{0+k})_j + \pi(t_{0+k}) + F_{инв}(t_{0+k}).$$

При этом издержки на выполнение региональных пассажирских перевозок $E_{п}(t_{0+k})_j$ напрямую зависят от получаемого дохода от них (в противном случае перевозки будут убыточными) с учётом временного запаздывания по расходам, т. е.

$$\begin{aligned} E_{п}(t_{0+k})_{ж.д} &= d_{ж.д}(t_{0+k}) z_{ж.д}(t_{0+k}); \\ E_{п}(t_{0+k})_а &= d_а(t_{0+k}) z_а(t_{0+k}); \\ F_{п}(t_{0+k})_{ж.д} &= \Delta d_{ж.д}(t_{0+k}) z_{ж.д}(t_{0+k}); \\ F_{п}(t_{0+k})_а &= \Delta d_а(t_{0+k}) z_а(t_{0+k}). \end{aligned}$$

Приведенные зависимости показывают сбалансированность доходов и расходов при выполнении смешанных региональных перевозок пассажиров двумя видами транспорта. Необходимо учитывать, что $d_{ij} > 0$, так как часть доходов остается от предыдущего периода и направляется в текущем периоде, то устойчивость региональных перевозок может быть описана следующим образом:

$$\begin{aligned} z_{ж.д}(t_{0+k}) &= d_{ж.д}(t_{0+k}) z_{ж.д}(t_{0+k}) + d_а(t_{0+k}) z_а(t_{0+k}) + \sum_{i=1}^F f_i(t_{0+k})_{ж.д}, \\ z_а(t_{0+k}) &= \Delta d_{ж.д}(t_{0+k}) z_{ж.д}(t_{0+k}) + d_а(t_{0+k}) z_а(t_{0+k}) + \sum_{j=1}^F f_j(t_{0+k})_а, \end{aligned}$$

где $\sum_{i=1}^F f_i(t_{0+k})_{ж.д}$, $\sum_{j=1}^F f_j(t_{0+k})_а$ – чистые инвестиции в транспортные предприятия, выполняющие региональные перевозки пассажиров железнодорожным и автомобильным транспортом.

Пассажиропоток регионального сообщения может рассматриваться в матричной форме: последовательность остановочных пунктов, доходность от их использования конкретным видом транспорта, инвестиции

$$z_{ij}(t_{k+1}) = D_{ij}(t_k) z_{ij}(t_k) + \sum_{j=1}^{F_j} f_{ij}(t_{0+k}),$$

при условии, что

$$\begin{aligned} z_{ij}(t_k) &= \begin{bmatrix} z_{ж.д}(t_k) \\ z_а(t_k) \end{bmatrix}, \quad D_{ij}(t_k) = \begin{bmatrix} d_{ж.д}(t_{0+k}), & d_а(t_{0+k}) \\ d_{ж.д}(t_k), & d_а(t_k) \end{bmatrix}, \\ f_{ij}(t_k) &= \begin{bmatrix} f_{ж.д}(t_{0+k}) \\ f_а(t_{0+k}) \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

Управление состоянием системы региональных пассажирских перевозок $z_{ij}(t_k)$ по всем периодам времени их исполнения позволяет регулировать устойчивость их работы, что гарантирует их стабильное выполнение и решение задач по их развитию за счёт стабильного инвестирования.

Во многих странах мира при обеспечении пригородных (региональных) перевозок пассажиров широко используется государственно-частное партнерство под полным контролем государства всех функциональных задач, поставленных перед ним. Функциональные направления, в которых используется государственно-частное партнерство, включают: частный извоз на малодетельных линиях и подвоз-вывоз пассажиров к поездам и магистральным автобусам при небольших пассажиропотоках; содержание небольших гостиниц в транспортных узлах регионального уровня (Житковичи, Калинковичи, Буда-Кошелево); полная эксплуатация пригородных платформ в пределах выделенного бюджета и самоокупаемости (рисунок 3); расширенная продажа проездных документов на пригородные маршруты различных видов транспорта (в банкоматах акционерных банков, в бортовых банковских терминалах, разъездными кассирами, в других объектах торговли) при жёстком контроле со стороны оператора региональной перевозки пассажиров.



Рисунок 3 – Частная стыковочная платформа регионального железнодорожного и автобусного сообщений (Италия)

Во многих странах мира, особенно с небольшими доходами населения, как и в Республике Беларусь, имеет место высокий уровень износа транспортных средств (рисунок 4).

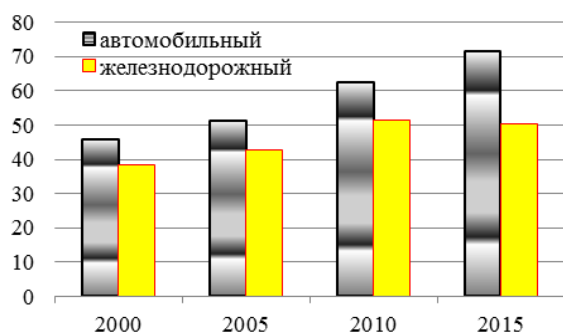


Рисунок 4 – Динамика износа транспортных средств для региональных перевозок пассажиров

Из приведенной диаграммы видно, что износ транспортных средств как на автомобильном (71,42 %), так и на железнодорожном (дизельпоездов – 57,1 %, электросекций – 87,3 %) транспорте является предельным по параметрам безопасности и комфорта перевозки пассажиров. Это связано с тем, что продолжительное время (с 1991 по 2000 гг.) в стране не выпускались транспортные средства, специализированные для региональных перевозок пассажиров. Для пригородных перевозок использовались автобусы МАЗ-103 (рисунок 5), предназначенные для внутригородских перевозок, что было весьма нерентабельно (особенно для перевозки до 20 пассажиров в номинале на весь рейс).



Рисунок 5 – Городские автобусы МАЗ-103, приспособленные для региональных перевозок пассажиров

С 1998 г. начато производство специализированных пригородных автобусов, которые получили новый дизайн и функциональную специализацию для региональных перевозок на направлениях различной пассажироёмкости (рисунок 6). Производство в Республике Беларусь автобусов, специализированных для региональных перевозок пассажиров, позволило по-новому организо-

вать их выполнение и снизить себестоимость (в части расхода топлива, затрат на шины, смазки, амортизацию и др.).

а)



б)



Рисунок 6 – Модели пригородных автобусов современного дизайна (МАЗ-206) различной вместимости: а – средней; б – малой

Динамика изменения себестоимости использования на маршрутах региональных перевозок специализированных автобусов показана на рисунке 7.

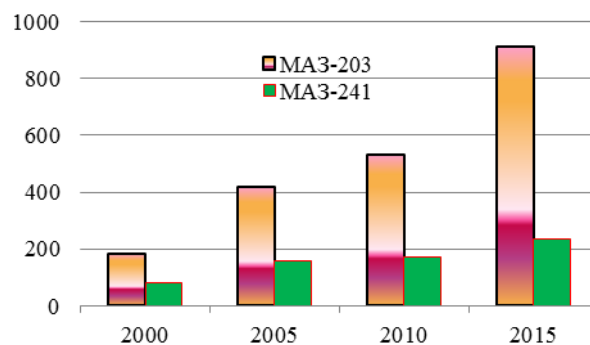


Рисунок 7 – Динамика себестоимости перевозок пассажиров автобусами в региональном сообщении (дол. за 1 пас·км)

Из приведенной диаграммы видно, что по критерию себестоимости использование автобусов, специализированных для выполнения региональной перевозки пассажиров, является более выгодным. Их использование в условиях современного ценообразования и тарификации на социально значимые услуги позволяет сделать их окупаемыми и исключить бюджетное субсидирование.

На последнюю пятилетку (2016–2020 гг.) Государственной программой национального развития Республики Беларусь предусмотрено резкое обновление транспортных средств для выполнения региональных перевозок. Поставлена задача довести уровень их износа до 39 %.

На железнодорожном транспорте, как и на автомобильном, для перевозок пассажиров в региональном сообщении в современных условиях используются электросекции и дизель-поезда. В Республике Беларусь налажено производство современных транспортных средств для региональных перевозок пассажиров железнодорожным транспортом. К ним отнесены безтамбурные электропоезда (рисунок 8). Наряду с ними используются также типовые электросекции с большой степенью износа.

а)



б)



Рисунок 8 – Модели электропоездов для региональных перевозок пассажиров на расстояния:
а – короткие; б – большие

С созданием электропоездов для региональных перевозок пассажиров на короткие и дальние расстояния различной комплектации (в составе 3, 4, 5, 7 вагонов) появилась возможность использования их более эффективно в зависимости от пассажиропотока. При этом для каждого вида функциональной задачи на перевозку пассажиров в региональном сообщении выполнен внутренний дизайн электропоезда (рисунок 9). Современные электропоезда выполнены низкопольными и в их конструкции учтены пожелания пассажиров с ограниченными возможностями (рисунок 9, в).

Обновление транспортных средств для железнодорожных региональных перевозок пассажиров оказало влияние на уровень себестоимости их выполнения (рисунок 10). Из приведенной диаграммы видно, что при использовании современных электропоездов для региональных железнодорожных перевозок пассажиров, себестоимость перевозки в них выше. Это связано с тем, что новый подвижной состав требует меньших затрат на техническую его эксплуатацию, но с учетом более высокой его первоначальной стоимости значительные средства идут на амортизацию (оплата кредита). Однако при выполнении региональных перевозок на дальние расстояния (свыше 50 км) может быть применен биз-

нес-класс обслуживания (по более высокому тарифу и уровню комфорта поездки), который позволит получить более высокий уровень возмещения расходов (на уровне окупаемости).

а)



б)



в)



Рисунок 9 – Внутренний дизайн электропоездов для региональных перевозок пассажиров:
а – на короткие расстояния; б – на большие расстояния;
в – для пассажиров с ограниченными возможностями

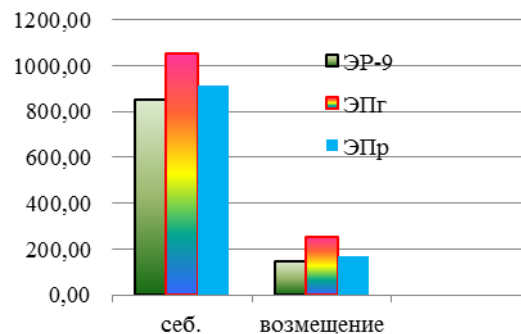


Рисунок 10 – Оценка себестоимости железнодорожных перевозок пассажиров в региональном сообщении, руб. за 10 пас·км

При развитии региональных перевозок решаются также инновационные задачи: по содержанию транспортной инфраструктуры, использованию новых транспортных средств, новой технологии выполнения перевозок (введение в расписание ускоренных региональных поездов) и др. С учетом того, что в Гомельском регионе много солнечных дней (свыше 270, как в Италии), то на посадочных платформах может использоваться энергия солнечных батарей, как это делается в других странах (рисунок 11).



Рисунок 11 – Использование энергии солнечных батарей для освещения платформ (Италия)

Использование солнечных батарей для освещения пассажирских платформ на промежуточных станциях регионального сообщения позволит на 25–30 % экономить расходы на их содержание. Тем более, что региональные перевозки выполняются в утренние и вечерние часы, когда требуется ещё освещение платформ, и солнечной энергии будет достаточно.

Выводы:

1 Развитие транспортной системы Республики Беларусь без учета организации региональных перевозок по всем стратегическим направлениям при интеграции всех видов транспорта будет приносить только значительные затраты и требовать всё большего бюджетного финансирования.

2 На пригородных перевозках всё большее значение должно приобретать государственно-частное партнёрство, оправдавшее себя экономически как в странах с

устойчивой экономикой, так и в постсоциалистических государствах.

3 Должна быть пересмотрена тарифная политика на региональные перевозки по всем видам транспорта с учётом их специфики, которая может позволить создавать единые тарифные схемы проезда граждан в регионе с использованием всех видов транспорта.

4 Необходимо создавать согласованные расписания движения транспортных средств на региональных маршрутах в стыковочных узлах с достаточной разбежкой по времени прибытия и отправления.

5 Требуется новый подход к обновлению транспортных средств для региональных перевозок, который предусматривает оптимизацию их производства на национальных машиностроительных предприятиях и создания дешевой инновационной базы по их технической эксплуатации с учетом интегрированного эффекта в области региональных перевозок пассажиров в целом для государства.

Список литературы

1 Пригородные пассажирские перевозки на железнодорожном транспорте в Республике Беларусь : [монография] / Т. А. Власюк, А. А. Михальченко. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 201 с.

2 Управление ресурсным обеспечением пригородных перевозок железнодорожным транспортом : Т. А. Власюк, А. А. Михальченко // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – Гомель : БелГУТ, 2014. – № 2(28) – С. 71–73.

3 Сурин, А. В. Инновационный менеджмент : учеб. / А. В. Сурин, О. П. Молчанова. – М. : ИНФРА-М, 2009. – 368 с.

4 Логистика управления расходами пассажирских перевозок в условиях реформирования железнодорожного транспорта / А. А. Михальченко, М. В. Макаренко, А. А. Михальченко, О. А. Ходоскина // Українська залізниця. – М., 2016. – № 2 (32). – С. 54–58.

5 Михальченко, А. А. Маркетинг на транспорте : учеб. пособие / А. А. Михальченко, М. И. Шкурин. – Гомель : БелГУТ, 2014. – 263 с.

6 Основы теории транспортных систем и процессов : учеб. пособие / А. А. Михальченко [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2017. – 382 с.

7 Расчёты эффективности хозяйственных мероприятий : А. А. Бевзелюк [и др.]. – Минск : Наука и техника, 1989. – 112 с.

Получено 25.09.2017

T. A. Vlasuk, A. A. Mikhalchenka, O. A. Hodoskina. Development of the logistics of mixed regional passenger transportation different types of transportcountry and manufacture on transport.

The actual problems of the optimal development of logistics for mixed passenger traffic in the regional communication, adaptation of the country's transport systems and production in transport are considered. The main directions for overcoming restrictions in the work of various modes of transport in the performance of mixed regional transportations by various modes of transport are exemplified by the example of the Gomel region.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

УДК 656.2.08

Ю. И. КУЛАЖЕНКО, доктор физико-математических наук, А. А. ЕРОФЕЕВ, кандидат технических наук, В. Г. КУЗНЕЦОВ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ УЧАСТНИКА ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Развитие транспортного комплекса предусматривает разработку и реализацию комплекса мер повышения безопасности, включающих определение для участников перевозочного процесса на железнодорожном транспорте, влияющих на безопасность перевозок, единых требований к их системе управления безопасностью (СУБ). Определены системные требования к структуре, функциям и процессам при создании СУБ. Установлены целевые условия разработки СУБ, гарантирующие безопасность процессов транспортной деятельности на железнодорожном транспорте всеми участниками перевозочного процесса. Представлена структура СУБ и раскрыты требования к составным ее частям. Рассмотрены особенности создания СУБ основными участниками перевозочного процесса: операторами инфраструктуры, перевозчиками, операторами подвижного состава, организациями, осуществляющими техническое обслуживание подвижного состава.

Целевые показатели государственной программы развития транспортного комплекса Республики Беларусь на 2016–2020 годы [1] могут быть достигнуты на основе постоянного повышения эффективности транспортной деятельности участников перевозочного процесса, их взаимодействия при организации перевозок и государственном регулировании транспортного рынка.

Показатели безопасности являются системными характеристиками деятельности организаций железнодорожного транспорта, т.к. надежность инфраструктуры, подвижного состава, качество технологии транспортной деятельности непосредственно влияют на риски возникновения нарушения движения поездов, маневровой работы, сохранности перевозки груза и других негативных событий.

Развитие транспортного комплекса Республики Беларусь предусматривает реализацию системных мер повышения безопасности. Важной частью системного подхода является определение для всех участников перевозочного процесса на железнодорожном транспорте, влияющих на безопасность перевозок, единых требований к их системе управления безопасностью (СУБ).

Участники перевозочного процесса – операторы инфраструктуры, а также организации железнодорожного транспорта, оказывающие услуги на железнодорожном транспорте общего пользования: перевозчики, операторы подвижного состава, железнодорожные предприятия, обеспечивающие ремонт, техническое обслуживание и содержание объектов инфраструктуры и подвижного состава, а также иные организации железнодорожного транспорта, непосредственно связанные с организацией и выполнением перевозочного процесса, должны нести полную ответственность за безопасность перевозочного процесса в части выполнения своих функций обеспечения транспортной деятельности (оказания услуг) на железнодорожном транспорте.

Обеспечение безопасности транспортной деятельности возлагается непосредственно на самих участников перевозочного процесса, которые должны иметь **систему управления безопасностью** перевозочного процес-

са, адекватную заявленным ими видам транспортной деятельности (рисунок 1).

Объектной областью приложения СУБ является та часть транспортной деятельности, которая заявлена участником перевозочного процесса при оказании услуг на железнодорожном транспорте Беларуси.

При создании СУБ участник перевозочного процесса должен соблюдать ряд требований к структуре, функциям и процессам транспортной деятельности для обеспечения установленных в международных и национальных нормативно-правовых актах (НПА) норм безопасности:

1) целевое управление – организационный подход к созданию структуры административной деятельности, направленной на развитие СУБ в организации и повышение качества взаимодействия с иными участниками перевозочного процесса;

2) надежность деятельности – методологический подход к оценке рисков, связанных с безопасностью транспортной деятельности, в том числе рисков, непосредственно вытекающих из производственных процессов участника перевозочного процесса и действий других организаций, а также соответствия применяемых методов контроля над рисками;

3) мониторинг состояния – методологический подход к обеспечению того, что меры контроля над рисками применяются, должным образом действуют и достигают цели организации;

4) развитие процессов – системный подход к анализу информации, полученной посредством мониторинга, проверок либо других организационно-технических мер и использование полученных результатов для принятия превентивных и корректирующих мер по обеспечению или повышению уровня безопасности транспортной деятельности;

5) ответственность – организационно-структурный подход к определению ответственности персонала организации и ее коллектива в целом за безопасную реализацию транспортных процессов организации;

6) управление компетенцией – организационно-методологический подход к обеспечению компетенции работников при принятии ответственных решений, необ-

ходимой для достижения целей безопасности при осуществлении организацией транспортной деятельности с учетом изменений внутренних и внешних условий;

7) информационность – организационно-структурный подход к обеспечению доступа к ответственной информации о безопасности выполнения производственных процессов, управленческих решений, связанных с безопасностью транспортной деятельности, а также к обеспечению полноты и соответствию информации;

8) оформление – организационный подход к установлению системы идентификации информации о безопасности транспортной деятельности на основе установленных форм учета и отчетности;

9) договорная деятельность – организационный подход к обеспечению организационно-правовой деятельности участника перевозочного процесса по заключению субдоговоров с иными организациями на должном уровне, при котором цели организации по обеспе-

чению безопасности транспортной деятельности будут достигнуты и все требования НПА выполнены;

10) транспортная деятельность организации – организационный подход, гарантирующий, что вся деятельность участника перевозочного процесса, влияющая на безопасность, а также ответственные для безопасности производственные процессы определены, организованы и правильно оформлены в соответствии с НПА, а также с учетом существующей положительной практики и применения общих методов безопасности для оценки риска собственной деятельности;

11) контрольная деятельность – системный подход, гарантирующий выполнение регламента контроля за собственной транспортной деятельностью участника перевозочного процесса, применением мер контроля качества, мониторинга производственных процессов и контроля устранения несоответствий в СУБ.

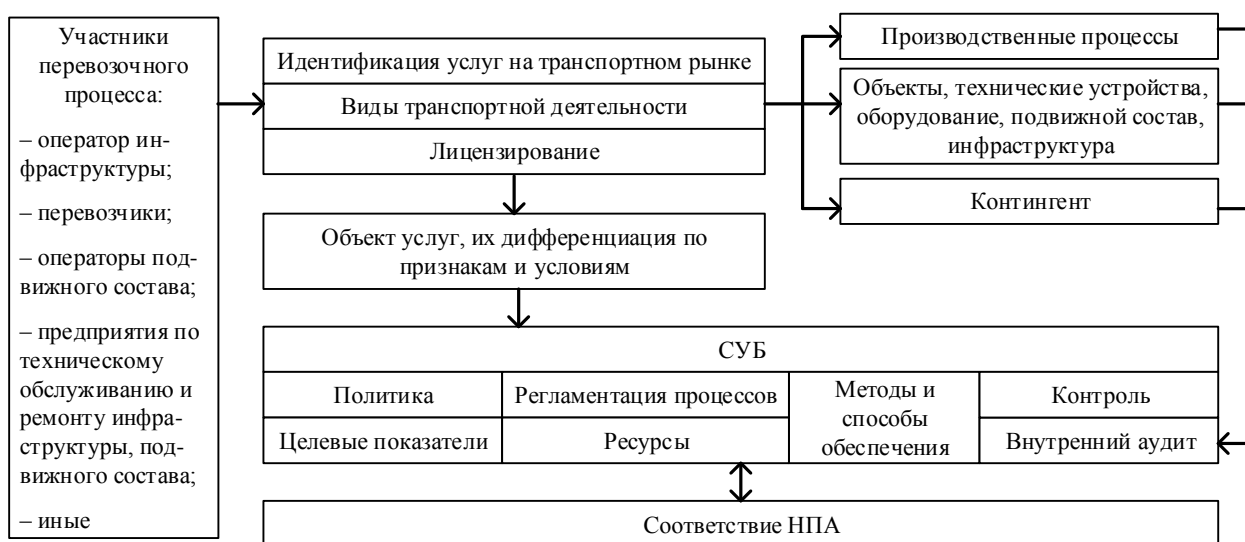


Рисунок 1 – СУБ в транспортной деятельности участника перевозочного процесса

Оператор инфраструктуры и другие участники перевозочного процесса должны создать СУБ, чтобы гарантировать достижение на железнодорожном транспорте Республики Беларусь международных и (или) национальных целей безопасности в соответствии с заявленными ими областями транспортной деятельности.

Участники перевозочного процесса для обеспечения безопасности транспортной деятельности должны:

- гарантировать, что транспортная деятельность и услуги, предоставляемые ими, а также инфраструктура, подвижной состав и иные устройства, оборудование соответствуют требованиям НПА и иным условиям для безопасного их использования оператором инфраструктуры и другими участниками перевозочного процесса;
- реализовывать необходимые меры по контролю за рисками при выполнении транспортной деятельности;
- применять международные и национальные НПА;
- создать систему управления безопасностью в соответствии с НПА;
- учитывать в своих СУБ риски, связанные с деятельностью других участников и третьих сторон;
- обязывать других участников, связанных с ним договорной основой, реализовывать меры по контролю за рисками;

– гарантировать, что их контрагенты реализуют меры по контролю за рисками посредством применения методов мониторинга процессов.

Предметная область СУБ участника перевозочного процесса определяется производственными операциями, связанными с транспортной деятельностью, и требованиями к ним, сформированными в комплексе НПА, представляющих свод правил безопасности транспортной деятельности на железнодорожном транспорте, в который могут быть включены следующие нормативные положения:

- правила, касающиеся установленных в национальных НПА целей безопасности и общих методов обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте;
- правила, касающиеся требований создания СУБ и проведения сертификации безопасности деятельности организаций железнодорожного транспорта;
- общие правила эксплуатации железнодорожного транспорта общего и необщего пользования, которые охватываются международными и национальными НПА, в том числе инструкциями по сигнализации, организации движения поездов и маневровой работе и др.;
- правила, устанавливающие требования в отношении дополнительных внутренних правил эксплуатации

(уставов), которые должны быть определены оператором инфраструктуры и иными участниками перевозочного процесса;

– правила, касающиеся требований в отношении персонала, выполняющего ответственные для безопасности операции, в том числе критерии отбора персонала, медицинское состояние, профессиональное обучение;

– правила сертификации;

– правила, касающиеся расследования несчастных случаев и происшествий.

СУБ участников перевозочного процесса должна включать:

1) политику в области безопасности, устанавливающую приоритет безопасности при реализации транспортной деятельности и содержащую принципы управления безопасностью. Деятельность персонала должна быть скоординирована принятой политикой. Политика в области безопасности должна быть утверждена руководителем организации и доведена до сведения всех сотрудников;

2) процедуры выявления опасностей и оценки рисков нарушений безопасности, меры по управлению рисками в области безопасности на железнодорожном транспорте, с указанием методов, исполнителей, ответственных за реализацию системы необходимых действий;

3) целевые показатели по безопасности на железнодорожном транспорте и связанные с ними планы мероприятий по достижению целевых показателей. Участник перевозочного процесса устанавливает цели (измеримые и достижимые), планы мероприятий по достижению этих целей (с указанием показателей, ответственных и сроков выполнения) в соответствии с требованиями НПА. Целевые показатели могут выражаться посредством количественных и качественных измерителей оценки обеспечения и повышения безопасности транспортной деятельности;

4) процедуру оценки соответствия безопасности транспортной деятельности требованиям НПА Республики Беларусь и технических регламентов;

5) процедуры контроля соответствия эксплуатации и использования объектов инфраструктуры, оборудования, подвижного состава в течение всего их жизненного цикла, а также производственных процессов НПА (стандартам и другим регламентированным условиям);

6) процедуры и методы определения рисков, проведения оценки риска и имплементации мер по контролю за рисками, применяемых при изменении условий эксплуатации или использовании новых объектов инфраструктуры, оборудования, подвижного состава или технологий перевозочной деятельности;

7) программу обеспечения людскими, производственными и финансовыми ресурсами, требуемыми для достижения целей по безопасности транспортной деятельности участника перевозочного процесса посредством:

– установления и распределения обязанностей, ответственности и полномочий работников участника перевозочного процесса в обеспечении безопасности;

– подготовки и повышения квалификации персонала для поддержания необходимого уровня компетенции работников и выполнения задач соответственно определенным условиям производственных процессов, в том числе исходя из физического и психологического состояний работников;

– наличия необходимой инфраструктуры, находящейся в рабочем состоянии, и создания производственной среды для персонала;

8) проведение анализа деятельности участника перевозочного процесса с периодичностью, установленной его внутренними документами, а также постоянного мониторинга и измерения показателей деятельности и периодического внутреннего аудита СУБ.

Качество проведения анализа безопасности транспортной деятельности обеспечивается:

– достаточным объемом, полнотой и достоверностью информации в организации и, при необходимости, между организациями железнодорожного транспорта;

– системой документального оформления информации о состоянии безопасности;

– процедурой всестороннего контроля за данными о состоянии безопасности ответственных транспортных процессов;

– процедурой, гарантирующей, что несчастные случаи, происшествия, инциденты и другие опасные события были отражены в отчетах, расследованы и проанализированы;

– системой принятия решений по регулированию вопросов обеспечения безопасности, в том числе предупредительного характера;

9) обеспечение планами действий при возникновении нестандартных, опасных ситуаций различного характера, которые могут привести к нарушению безопасности транспортной деятельности.

Планы действий должны быть согласованы соответствующими органами государственной власти и предусматривать процедуру взаимодействия со специальными организациями по предотвращению и ликвидации опасных ситуаций;

10) планы и процедуру периодических внутренних проверок системы управления безопасностью.

Участники перевозочного процесса могут включать и другие положения в СУБ, чтобы охватить возможные риски для безопасности, с учетом оценки рисков от их собственной деятельности.

Деятельность участника перевозочного процесса в СУБ должна гарантировать безопасность транспортной деятельности по всем компонентам, обеспечивающим производственные процессы:

– основные процессы транспортной (производственной) деятельности, а также иные ответственные процессы, влияющие на безопасность, должны быть определены, корректно организованы и правильно оформлены; все изменения в процессы, влияющие на безопасность, должны осуществляться, исходя из изменений существующей практики транспортной деятельности и применения методов безопасности для оценки риска в соответствии с НПА;

– процессы взаимодействия с иными участниками перевозочного процесса должны быть согласованы, исходя из единых требований обеспечения безопасности транспортной деятельности на железнодорожном транспорте;

– объекты инфраструктуры и их элементы (оборудование, устройства, технические средства и т.п.) должны быть определены, идентифицированы, зарегистрированы и находиться в рабочем состоянии для обеспечения выполнения услуг транспортной деятельности в соответствии с договорами с иными участниками перевозочного процесса, обеспечивая при этом безопасное оказание услуг, эргономику и защиту здоровья;

– применение в транспортной деятельности и проверка оборудования, технических средств и устройств, подвижного состава, машин осуществляется в соответствии с требованиями к их эксплуатации;

– ресурсы для осуществления транспортной деятельности используются в соответствии с технологией и договорами участников перевозочного процесса, отвечают соответствующим международным и национальным правилам и требованиям, соответствуют организации процесса перевозки и технического обслуживания инфраструктуры и подвижного состава;

– организована система документооборота, связанная с транспортной деятельностью и с использованием технических средств объектов инфраструктуры и подвижного состава, гарантирующая их правильное применение на всех этапах перевозки и процессах транспортной деятельности участников перевозочного процесса.

В СУБ должно быть установлено распределение обязанностей в пределах организации железнодорожного транспорта – оператора инфраструктуры или иного участника перевозочного процесса. При этом должны быть установлены:

– способы и процедуры контроля руководством разного уровня процесса обеспечения безопасности;

– способы и процедуры привлечения работников на всех уровнях к обеспечению безопасности;

– способы и методы, гарантирующие постоянное улучшение системы управления безопасностью.

Участник перевозочного процесса должен обеспечить контроль выполнения собственных процессов, а также процессов, переданных для исполнения сторонней организации. Методы и способы контроля таких процессов должны быть определены в СУБ в зависимости структуры и характера управленческих и производственных процессов и их влияния на параметры безопасности перевозочного процесса. С этой целью участник перевозочного процесса должен применять в СУБ методы мониторинга, установленные в методах управления безопасностью на железнодорожном транспорте общего пользования Беларуси.

В СУБ контрольная деятельность должна носить системный характер и охватывает выполнение следующих условий:

– технические регламенты и технология транспортной деятельности каждого участника перевозочного процесса выполняются в соответствии с НПА, соблюдаются регламентные работы по техническому обслуживанию и ремонту объектов (устройств) инфраструктуры, подвижного состава, а также внеплановые ремонты при обнаружении дефектов, отказов или других событий;

– используются необходимые организационно-технические меры по контролю над качеством транспортной деятельности, а также работ по техническому обслуживанию и ремонту;

– транспортная деятельность участника перевозочного процесса осуществляется в соответствии с договором и корректируется с учетом условий деятельности и возможных ограничений;

– контролируются несоответствия в реализации процессов транспортной деятельности и применения СУБ, которые могут повлечь возникновение опасных событий; несоответствия указываются в отчетах, расследуются и анализируются;

– контролируется применение принятых превентивных и регулировочных организационно-технических мер в соответствии с методами управления безопасностью на железнодорожном транспорте и применяемой положительной практикой;

– периодическая внутренняя проверка и мониторинг соответствуют методам управления безопасностью и мониторинга, применяемых на железнодорожном транспорте.

СУБ участника перевозочного процесса должна быть документально оформлена по всем процессам транспортной деятельности и включать основные компоненты обеспечения безопасности. Структура СУБ участника перевозочного процесса и перечень решаемых в транспортной деятельности системы задач по обеспечению безопасности устанавливается внутренними документами участника перевозочного процесса. Тем самым участник перевозочного процесса добровольно принимает на себя обязательства по обеспечению безопасности выполняемых им процессов.

При выполнении функций производственной деятельности участники перевозочного процесса должны внедрить СУБ, соответствующую требованиям национального законодательства и международным соглашениям, в рамках сферы их деятельности. Информацию об обеспечении безопасности транспортной деятельности и внедрении СУБ участник перевозочного процесса предоставляет государственному органу контроля.

СУБ должна иметь гуманистическую направленность и учитывать при управлении безопасностью принцип влияния человеческого фактора и соответствующие методы его оценки. Исходя из этого СУБ должна подтверждать, что производственные процессы гарантируют нормативы использования персонала с учетом психофизиологических возможностей работников, обеспечены эргономические требования при организации рабочих мест, а также используются установленные на железнодорожном транспорте методы оценки влияния на человека условий труда.

Внедрение СУБ должно способствовать развитию в коллективе участника перевозочного процесса культуры взаимного доверия работников, конфиденциальности о выполнении ответственных процессов в рамках установленных внутренних и национальных интересов и осведомленности о целях, задачах и методах (способах) достижения требований безопасности, стимулируя при этом работников в повышении безопасности.

Органы государственного управления должны способствовать взаимодействию участников перевозочного процесса при реализации каждым из них в СУБ мер по управлению рисками. Каждый участник перевозочного процесса должен нести ответственность перед другими участниками за полный и достоверный обмен данными о состоянии и готовности к выполнению операций транспортной деятельности объектов инфраструктуры, подвижного состава, погрузочно-разгрузочных машин, выполнении их технического обслуживания, выполнении грузовых и коммерческих операций, организации движения поездов и маневровой работы и других технических, технологических и организационных условий перевозочного процесса.

Участники перевозочного процесса должны гарантировать, что их контрагенты реализуют меры по управлению рисками транспортной деятельности посредством заключения соглашений взаимодействия. Соглашения между участником перевозочного процесса

и контрагентом являются существенной частью СУБ участника перевозочного процесса.

Оператор инфраструктуры железнодорожного транспорта должен нести основную ответственность за безопасное проектирование, техническое обслуживание и функционирование железнодорожных станций и участков. Оператор инфраструктуры подлежит контролю со стороны государственного органа по обеспечению безопасности в отношении их СУБ, а также соответствия локальных технических актов требованиям безопасности, установленных в НПА.

Для получения права управлять железнодорожной инфраструктурой и осуществлять деятельность на ней оператор инфраструктуры должен получить соответствие (авторизацию) безопасности от государственного органа власти по обеспечению безопасности Беларуси.

Соответствие безопасности включает одобрение СУБ оператора инфраструктуры согласно требованиям НПА, регламентирующим безопасное проектирование, техническое обслуживание и функционирование железнодорожной инфраструктуры.

Государственный орган по обеспечению безопасности устанавливает требования для оценки соответствия безопасности оператора инфраструктуры и необходимые для этого документы в установленной им форме.

Соответствие безопасности может быть полностью или частично пересмотрена в случае, когда вносятся существенные изменения в инфраструктуру либо в принципы их функционирования и управления ими. Оператор инфраструктуры обязан сообщать государственному органу по обеспечению безопасности обо всех подобных изменениях.

Государственный орган по обеспечению безопасности может пересмотреть соответствие безопасности оператора инфраструктуры после существенных изменений в нормативной базе, касающейся безопасности.

Перевозчик несет ответственность за безопасность организации перевозочного процесса в пределах взятых на себя обязательств по договору перевозки. По всем видам деятельности, связанных с перевозкой пассажиров и грузов, перевозчик внедряет СУБ.

При владении железнодорожным подвижным составом для осуществления перевозок на праве собственности или ином праве перевозчик подтверждает, что подвижной состав соответствует техническим требованиям, установленным международными и национальными НПА, а также требованиям Правил технической эксплуатации железнодорожного транспорта.

При отсутствии в собственности тягового подвижного состава, вагонов перевозчик может заключить договор об оказании услуг локомотивной тяги или обеспечения вагонами. В договоре на оказание услуг устанавливается ответственность предъявителя услуг (владельца подвижного состава) за безопасное функционирование подвижного состава во время реализации перевозки.

Перевозчик для организации перевозок на железнодорожном транспорте общего пользования заключает с владельцами транспортных средств договоры об оказании услуг по использованию инфраструктуры, в которых определяются условия организации вагонопотоков, технология эксплуатации вагонов и локомотивов, порядок технического обслуживания железнодорожного подвижного состава, ответственность сторон по обязательствам, вытекающим из перевозок железнодорожным транспортом. Перевозчик в

СУБ гарантирует безопасное выполнение процессов договора перевозки при использовании инфраструктуры.

Средства для подготовки перевозчиком поездных бригад для сертификации их деятельности по тяге поездов должно соответствовать требованиям национальных НПА. Государственные органы представляют указанные требования перевозчикам, намеревающимся осуществлять деятельность на инфраструктуре железнодорожного транспорта общего пользования.

Владельцы подвижного состава несут ответственность за надежность вагонов и локомотивов и соответственно за безопасность движения поездов. Подвижной состав участника перевозочного процесса (перевозчика, оператора подвижного состава или иного) должен быть зарегистрирован в реестре транспортных средств в соответствии с НПА.

Владельцы подвижного состава должны гарантировать, что транспортные средства, за техническое обслуживание которых они отвечают, находятся в состоянии, безопасном для функционирования. Для этого участник, отвечающий за техническое обслуживание, должен установить систему технического обслуживания указанных в его реестре транспортных средств. В СУБ владелец подвижного состава должен:

- гарантировать, что подвижной состав технически обслуживается в соответствии с техническими требованиями на его эксплуатацию и техническими регламентами, в том числе положениями международных НПА;
- внедрить методы анализа и оценки рисков, установленные в национальных НПА, при необходимости – во взаимодействии с другими участниками;
- гарантировать, что его контрагенты реализуют меры по контролю за рисками посредством применения принятых в Беларуси методов мониторинга;
- гарантировать возможность отслеживания действий по техническому обслуживанию подвижного состава.

Система технического обслуживания участника перевозочного процесса, осуществляющего техническое обслуживание подвижного состава, должна включать функции:

- управления, предназначенную для надзора за действиями по техническому обслуживанию и их координации, а также для обеспечения безопасного состояния транспортного средства на железнодорожном транспорте;
- адаптации технологии выполнения технического обслуживания транспортного средства в зависимости от его текущего состояния (уровня надежности), обеспечивающую соблюдение документации по техническому обслуживанию, данных эксплуатации транспортного средства, технико-эксплуатационных характеристик подвижного состава;
- управления техническим состоянием и включения подвижного состава в состав поезда, предусматривающую своевременное помещение транспортного средства на техническое обслуживание (ремонт) и его возвращение в эксплуатацию после технического обслуживания (ремонта);
- проведения технического обслуживания подвижного состава, предусматривающую предоставление на предприятиях железнодорожного транспорта республики, требуемого технического обслуживания транспортного средства или его частей.

Организация железнодорожного транспорта, отвечающая за техническое обслуживание грузовых вагонов, должна быть сертифицирована в отношении деятельности технического обслуживания вагонов. Если данный

вид деятельности выполняет оператор инфраструктуры, то процедуры обеспечения безопасности включаются в его СУБ. Сертификат, выданный участнику перевозочного процесса, должен гарантировать, что требования к техническому обслуживанию вагонов обеспечены по каждому грузовому вагону, и он несет ответственность на гарантированном участке следования вагона.

Участник перевозочного процесса, отвечающий за техническое обслуживание, должен осуществлять функцию управления сам, но может и передать функции технического обслуживания другим участникам, привлекаемым на договорных условиях, например вагонным депо, вагоноремонтным заводам и другим.

Участник перевозочного процесса, отвечающий за техническое обслуживание, должен гарантировать, что все функции, связанные с техническим обслуживанием подвижного состава, соответствуют требованиям и критериям оценки НПА, а его предприятия должны быть сертифицированы и иметь сертификат участника, отвечающего за техническое обслуживание, выданный аккредитованным органом либо государственным органом по обеспечению безопасности.

Все участники перевозочного процесса несут ответственность за безопасность транспортной деятельности и риски возникновения ущерба иным участникам перевозочного процесса и оператора инфраструктуры.

При появлении рисков для безопасности транспортной деятельности участник перевозочного процесса должен в пределах своей компетенции:

- принимать любые необходимые корректирующие меры для устранения обнаруженных рисков для безопасности;
- сообщать о таких рисках соответствующим заинтересованным сторонам, чтобы предоставить им право предпринимать определенные корректирующие действия для обеспечения необходимого состояния безопасности железнодорожного транспорта общего пользования.

Постоянное развитие участниками перевозочного процесса СУБ показывает их заинтересованность и ответственность за качество предоставляемых ими услуг на транспортном рынке.

Список литературы

1 Государственная программа развития транспортного комплекса Республики Беларусь на 2016–2020 гг. : [утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 28 апр. 2016 г. № 345 : с изм. и доп. : текст по состоянию на 12 янв. 2017 г.]. – Минск, 2016. – 78 с.

Получено 01.06.2017

Yu. I. Kulazhenko, A. A. Erofeev, V. G. Kuznetsov. Providing the control system of safety of the participant of transportation process on railway transport.

Development of a transport complex provides development and realization of a package of measures of increase in safety, including definition for the participants of transportation process on railway transport influencing safety of transportations, uniform requirements to their control system of safety (CSS). System requirements to structure, functions and processes during creation of CSS are defined. The purposes of development of CSS guaranteeing safety of processes of transport activity on railway transport by all participants of transportation process are established. The structure of CSS is presented and requirements to her compound parts are opened. Features of creation of CSS are considered by the main participants of transportation process: operators of infrastructure, carriers, operators of the rolling stock, the organizations which are carrying out technical service of the rolling stock.

2 О железнодорожном транспорте : Закон Респ. Беларусь от 6 янв. 1999 № 237-3 : с изм. и доп. : [текст по состоянию на 31 янв. 2014 г.]. – Минск, 1999. – 15 с.

3 О лицензировании отдельных видов деятельности : Указ Президента Респ. Беларусь от 01 сент. 2010 г. № 450 : с изм. и доп. : [текст по состоянию на 20 окт. 2016 г.]. – Минск, 2010. – 141 с.

4 Договор о Евразийском экономическом союзе : Закон Респ. Беларусь от 9 окт. 2014 № 193-3 : с изм. и доп. : [текст по состоянию на 11 апр. 2017 г.]. – Астана, 2014. – 428 с.

5 Directive (EU) 2016/798 of the European Parliament and of the Council of 11 May 2016 On railway safety (recast) (Text with EEA relevance). [Опубликована в Официальном журнале]. – N L 138, 26.05.2016. – С. 102–149.

6 Перечень мероприятий технического (технологического, поверочного) характера : [утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 30 ноя. 2012 г. № 1105 : с изм. и доп. : текст по состоянию на 13 янв. 2017 г.]. – Минск, 2012. – 16 с.

7 О совершенствовании работы по обеспечению безопасности движения поездов на Белорусской железной дороге : приказ Начальника Белорусской железной дороги от 05.01.2012 г. № 4Н. – Минск : Бел. ж. д., 2012. – 266 с.

8 О безопасности железнодорожного подвижного состава. Технический регламент (ТР ТС 001/2011) : [утв. решением Комиссии Таможенного союза от 15 июл. 2011 г. № 710 : с изм. и доп. : текст по состоянию на 14 мар. 2017 г.]. – М., 2011. – 67 с.

9 О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта. Технический регламент (ТР ТС 003/2011) : [утв. решением Комиссии Таможенного союза от 15 июл. 2011 г. № 710 : с изм. и доп. : текст по состоянию на 14 мар. 2017 г.]. – М., 2011. – 67 с.

10 Правила безопасности на железнодорожном транспорте : приказ Министра по инвестициям и развитию Респ. Казахстан от 26 марта 2015 года № 334. – 10 с.

11 **Грунтов, П. С.** Эксплуатационная надежность станций / П. С. Грунтов. – М. : Транспорт, 1986. – 247 с.

12 **Пищик, Ф. П.** Безопасность движения на железнодорожном транспорте : учеб. пособие / Ф. П. Пищик. – Гомель : БелГУТ, 2009. – 267 с.

13 **Кузнецов, В. Г.** Формирование комплексной системы мониторинга состояния безопасности движения на железной дороге / В. Г. Кузнецов, О. Д. Савчук, Е. А. Федоров // Проблемы безопасности на транспорте : тр. VII науч.-практ. конф. 26–27 окт. Дополнение 2. – М. : МИИТ, 2006. – С. 16, 17.

14 **Кузнецов, В. Г.** Требования к системе безопасности перевозчика при организации перевозок на участках оператора инфраструктуры / В. Г. Кузнецов, Н. П. Улащик // Проблемы безопасности на транспорте : материалы II Междунар. науч.-практ. конф., Гомель. – Гомель : БелГУТ, 2015. – С. 139–140.

15 **Кулаженко, Ю. И.** Совершенствование механизмов государственного контроля безопасности транспортной деятельности на железнодорожном транспорте / Ю. И. Кулаженко, А. А. Ерофеев, В. Г. Кузнецов // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2017. – № 1 (34). – С. 36–41.

В. Я. НЕГРЕЙ, доктор технических наук, М. А. МАСЛОВСКАЯ, аспирант, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ – ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА ЕЕ РАБОТЫ

Приводятся основные факторы, влияющие на электрификацию железных дорог: рельеф местности, наличие систем энергоснабжения, размеры перевозок на железной дороге и темпы их роста, стоимость электроэнергии и дизельного топлива. Подчеркнута необходимость развития транспортных связей между регионами, прогнозирование объемов перевозок грузов по железной дороге, формирование сети электрифицированных железных дорог, учитывающей условия и особенности электрификации в Республике Беларусь.

Важную роль в повышении эффективности работы железнодорожного транспорта и снижении экологической нагрузки на окружающую среду играет электрификация железной дороги. Она направлена на повышение качества обслуживания пассажиров и конкурентоспособности на внутреннем и международном рынках транспортных услуг. По сравнению с тепловозной тягой электрическая имеет ряд преимуществ:

- сокращение расходов по оплате энергоресурсов для тяги поездов;
- увеличение технической и маршрутной скорости движения поездов, повышение весовых норм грузовых поездов;
- снижение выбросов вредных веществ в атмосферу; уменьшение загрязнений территорий депо и станций нефтепродуктами, снижение шумовой и вибрационной нагрузки от локомотивов и др.

Первый участок Белорусской железной дороги был электрифицирован в 1963 году. Полностью электрифицирована белорусская часть II Общеευропейского транспортного коридора Брест – Минск – Орша – Госграница с Российской Федерацией, а также часть IX Общеευропейского транспортного коридора Гудогай – Молодечно – Минск – Осиповичи – Бобруйск – Жлобин – Гомель. В настоящее время в Беларуси из 5,5 тыс. км железных дорог электрифицировано 1128,3 км, на электрифицированных участках выполняется 25 % грузооборота и 30 % пассажирооборота. В связи со строительством в Беларуси атомной станции электроэнергия подешевеет и преимущества электрической тяги проявятся в полной мере. Появится возможность полной электрификации основных направлений Белорусской железной дороги. Поскольку сразу это сделать невозможно, то следует рассмотреть этапность проведения электрификации железной дороги. Кроме того, Беларусь находится в полигоне электрифицированных железных дорог России, Украины и Польши, что указывает на актуальность электрификации.

Перевод железной дороги на электрическую тягу ускоряет и облегчает электрификацию промышленности, сельскохозяйственных районов, где проходит электрифицированная железная дорога. Электрификация повышает эффективность и качество работы железной дороги, уменьшает ее эксплуатационные расходы. Преимущества электрической тяги очевидны.

Электрификация – один из важнейших инвестиционных проектов Белорусской железной дороги. В настоящее время электрифицировано 20,5 % от всей ее длины. Как отметил министр транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, к 2030 году Беларусь завершит электрификацию основных грузонапряженных участков железнодорожной линии [1]. Уменьшение эксплуатационных расходов будет достигнуто за счет меньшей стоимости электроэнергии.

Общая протяженность железных дорог в мире составляет около 1 млн км, из них 30 % электрифицировано. При меньшей длине электрифицированные железные дороги выполняют 50 % грузовых перевозок; средняя грузонапряженность в три раза выше, чем на дорогах с тепловозной тягой.

Для введения электрической тяги необходимы капитальные вложения в постоянные устройства (тяговые подстанции, контактную сеть, внешнюю ЛЭП и др.), затраты в локомотивное хозяйство (реконструкцию депо, подвижной состав, электровозремонтные заводы), затраты в вагонный парк, расходы по доставке и производству топлива электростанций, затраты на путевое хозяйство.

На электрификацию железных дорог оказывают влияние: рельеф местности, наличие источников электроснабжения, стоимость дизельного топлива и электроэнергии, размеры перевозок и темпы их роста, наличие электрифицированных дорог в регионе и другие факторы. При электрификации необходимо определить: вид тока (постоянный или переменный), размещение тяговых подстанций, влияние размеров перевозок на участки электрификации, массу состава грузового поезда, типы локомотивов и другие показатели.

Электрическая тяга наиболее чувствительна к сложному рельефу местности, так как на участках преодоления расчетных подъемов имеет существенный выигрыш в скорости за счет большей (в два раза) расчетной скорости у электровоза, чем у тепловоза. Выигрыш в скорости на таких участках позволяет существенно уменьшить эксплуатационные расходы. В Республике Беларусь преобладает равнинный рельеф местности, поэтому выигрыш в скорости на расчетных подъемах незначительный.

Достаточно большая протяженность линий в России, электрифицированных на постоянном токе, является

ся следствием того, что в период массовой электрификации железных дорог (30–50-е годы XX в.) это была единственная система тока (напряжение в контактном проводе – 1,5 и 3 кВ), наиболее подходящая для практической реализации. Своим путем пошла Германия, создав систему тяги «нестандартного» переменного тока частотой 16 Гц и напряжением 15 кВ. В дальнейшем такая система получила распространение только в Европе (Австрия, Швейцария, Швеция и Норвегия). Япония использует электрификацию постоянным током с напряжением 1,5 кВ и переменным с напряжением 20 кВ для обычных линий; для Синкансэна (высокоскоростная сеть) – 25 кВ переменным током.

Распределение электрифицированных линий по системам электрической тяги в Европе следующее: переменный ток – 55,6 %, постоянный ток 41,8 %, другие системы – 2,6 % (2,8 тыс. км).

Учитывая инвестиции в стоимость оборудования и локомотивов, невозможно унифицировать электрифицированные линии всей Европы и перевести все системы хотя бы на классическую систему питания. Невозможно, потому что необходимо снабдить единицы тяги оборудованием для двух видов тяги (например, обеспечить переходы от 1,5 к 25 кВ), т.е. постепенно оборудовать сеть двойной цепной контактной сетью питания.

Исходя из экономических соображений, все новые высокоскоростные линии и новые направления традиционной (классической) сети сейчас оснащаются током в 25 кВ со всеми предусмотренными изменениями в габаритах и в сигнализации.

В СНГ, как и в Европе, по системе переменного тока (25 кВ, 50 Гц) электрифицировано 53 % линий, на постоянном токе – 47 % (3 кВ). Исключение: железные дороги Армении и Грузии электрифицированы полностью, а в Азербайджане электрическая тяга применена на 60 % линий (по протяженности) и выполняет 84 % объема перевозок.

По абсолютной протяженности электрифицированных железных дорог среди стран мира лидирует Россия (40,3 тыс. км, или 9 % от общей протяженности железных дорог мира).

Предполагается, что электрификация РЖД будет осуществляться в первой половине нынешнего столетия и далее преимущественно на переменном токе 25 кВ 50 Гц. Однако в отдаленной перспективе, по мере прогрессирующего развития силовой управляемой полупроводниковой техники, возможна постановка задачи применения для электрической тяги постоянного тока повышенного напряжения 24 кВ, для которого энергетическая эффективность в сопоставлении с тягой переменного тока может оказаться более высокой (по экономии энергии, КПД, электромагнитной совместимости).

В Республике Беларусь в настоящее время эксплуатационная длина электрифицированных участков дороги – 1128,3 км, в том числе на переменном токе – 1101,9 км, на постоянном – 26,4 км. Участки работают на переменном токе напряжением 27,5 кВ, 2×25 кВ и на постоянном токе напряжением 3,3 кВ. Развернутая длина имеющейся контактной сети – 3449,5 км [1].

Так как Беларусь расположена в полигоне использования электрической тяги на переменном токе (Россия, Украина, Польша), то этот вид тока целесообразно использовать и на Белорусской железной дороге.

Основными электроустановками при электрификации железных дорог являются тяговые подстанции, которые располагаются на расстоянии 40–50 км одна от другой при переменном токе, при постоянном токе – на расстоянии 20–25 км.

Тяговые подстанции размещаются на отдельных пунктах с путевым развитием. Так как Республика Беларусь характеризуется относительно равнинной местностью и большой плотностью размещения отдельных пунктов, то условия размещения тяговых подстанций соблюдаются и не составляют трудностей. В других странах (Великобритания, Франция, Испания, Швеция, Норвегия, Германия, восточная часть России и др.) обстановка другая: необходимо размещать тяговые станции в районах затяжных подъёмов, у вершин перевалов на горных линиях, на узловых и участковых станциях, для того чтобы облегчить условия их обслуживания, снизить капитальные вложения и эксплуатационные расходы.

Случается так, что размеры перевозок невелики (до 24 пар поездов в сутки). Такая слабозагруженность характерна в настоящее время для некоторых регионов Республики Беларусь, Литвы, Латвии, России. В таких случаях электрификация железной дороги вообще нецелесообразна, но при непредвиденном падении объемов перевозок допускается обеспечение надежности питания тяговых подстанций как потребителей II категории (одностороннее питание, питание тяговых ПС от одной секционированной высоковольтной линии).

Электрификация Белорусской железной дороги предусматривает современное, надежное и безопасное оборудование. Например, внедрение современных систем управления, диагностики и мониторинга состояния оборудования в ближайшем будущем позволит обеспечить работу тяговых подстанций без обслуживающего персонала.

Одним из условий увеличения скорости движения поездов до 160 км/ч является использование современной контактной подвески. Применение новых технологий снижает эксплуатационные затраты и продлевает срок службы контактной сети.

Существенно влияют на электрификацию железной дороги размеры перевозок. Например, в России прогноз деятельности РЖД на 2030 год – увеличение интенсивности перевозок на БАМе в 10 раз, что в цифровом эквиваленте будет соответствовать 70 млн т·км. Причина такого существенного увеличения – разработка и освоение новых месторождений полезных ископаемых на территории Якутии, а также на других территориях Дальнего Востока. Прогнозируется также увеличение роста количества поездов пассажиров и связывается данный прогноз с такими показателями, как повышение уровня качества обслуживания на РЖД, усиление деловой активности граждан, рост финансовых доходов [2].

Исходя из грузонапряженности, участки Орша – Витебск – Полоцк – Бигосово (включая участок Полоцк – Новополоцк), Барановичи – Лунинец – Калинковичи и Орша – Могилев – Жлобин определены Белорусской железной дорогой в качестве полигона перспективной электрификации.

На станцию Ситница, с которой ведется масштабная отправка щебня, приходится значительная доля грузовой работы Белорусской магистрали. В связи со строительством горно-обогатительного комбината на базе

месторождения «Ситницкое» нагрузка будет увеличиваться. Поэтому специалисты считают целесообразным для снижения себестоимости перевозок электрифицировать участки Барановичи – Лунинец – Ситница (с учетом реализации проекта строительства второго пути на перегоне Ситница – Лахва).

Представители Гомельского отделения железной дороги предлагают рассмотреть вариант электрификации участка Калинковичи – Житковичи – Ситница. В качестве обоснования приводится проектируемый в настоящее время Петриковский горно-обогатительный комплекс. Планируется, что в декабре 2019 года он начнет отгрузку калийных удобрений.

На оптимальный срок электрификации железной дороги существенное влияние оказывает стоимость электроэнергии и дизельного топлива. Стоимость дизельного топлива в ценах января 2018 года составляет 1,44 руб./л, а электроэнергии – 0,252 руб./кВт·ч. Выполнив необходимые расчеты, получили, что грузопоток для перехода к электрической тяге на Белорусской железной дороге должен составлять 17–20 млн т/год.

С переводом железной дороги на электрическую тягу можно развивать высокоскоростное движение пассажирских поездов. Примером этого является электрифицированный участок Москва – Санкт-Петербург – Нижний Новгород с обращением электропоезда «Сапсан». К 2030 году на севере и востоке России, в местах залегания полезных ископаемых (северное Приобье, полуостров Ямал, регион БАМа), сразу же будет сооружаться электрифицированная железная дорога. В Республике Беларусь повышение скоростей межобластных поездов до 140–160 км/ч снизит конкуренцию с автомобильным транспортом.

Развитие и углубление международного сотрудничества (формирование международных транспортных коридоров) способствует унификации параметров транспортной инфраструктуры и применению единой технологии перевозок, в т. ч. и в Республике Беларусь.

По территории нашей республики проходят два транспортных коридора. Критский транспортный коридор № 2 по маршруту Лондон – Париж – Берлин – Варшава – Брест – Минск – Москва – Нижний Новгород проходит по территории Республики Беларусь в рамках двухпутной электрифицированной железнодорожной линии протяженностью 615 км. Преимуществом использования белорусского участка данного коридора является сокращение на 30–35 % расстояния перевозок. Другой важной составляющей транспортной системы Республики Беларусь являются участки транспортного коридора № 9 (граница Украины – Гомель – Могилев – Орша – Витебск – граница Российской Федерации) и № 9В (Гомель – Минск – Вильнюс – Клайпеда), соединяющие Финляндию, Литву, Россию, Беларусь, Украину, Молдову, Румынию, Болгарию, Грецию. Благодаря наличию этого коридора через Беларусь организована устойчивая транспортная связь между северными и южными морями Европейского континента.

В настоящее время Республика Беларусь входит в Единую энергетическую систему БРЭЛЛ (Беларусь, Россия, Эстония, Литва, Латвия) и может обмениваться электроэнергией с другими странами с помощью протянутых между ними линий электропередач. Все они вызывают особые надежды с введением в эксплуатацию в

Республике Беларусь АЭС, вырабатываемая электроэнергия которой будет дешевле производимой в настоящее время.

Особое место в оценке теоретической и практической значимости электрификации железных дорог занимают:

- вопросы изучения рационального развития транспортной электрифицированной сети дорог;
- особенности формирования и прогнозирования грузопотока на участках и направлениях, перспективных для электрификации.

В работах по электрификации существующих железных дорог рассматривались вопросы оптимального наращивания мощности полигона грузонапряженных железных дорог, а также регионально-транспортные исследования [1].

Изучались вопросы формирования полигонов сети железных дорог с учетом оптимального распределения грузопотоков [3]. Рассматривалось обоснование этапного усиления мощности железных дорог путем исследования веса и скорости движения грузовых поездов. При анализе поэтапного наращивания мощности железных дорог использовались математические методы: линейное и динамическое программирование, последовательный и комбинаторный анализ вариантов, градиентные и вероятностные методы, имитационное моделирование. Проблема электрификации железнодорожных направлений в современных политических и экономических условиях требует учета целого комплекса показателей оценки проектных решений. На наш взгляд, в первую очередь это вопросы развития транспортных связей между регионами, а также формирование и прогнозирование объемов перевозок. Известно, что величина грузопотока является одним из важнейших показателей конкурентоспособности перевозок, а также эффективности и целесообразности электрификации железнодорожных направлений, что подтверждает и мировой и отечественный опыт.

Основные выгоды стране от электрификации железных дорог:

- оптимизация топливно-энергетического баланса страны;
- энерго- и ресурсосбережение – за счет внедрения прогрессивных технологий, направленных на снижение расходов энергоносителей;
- улучшение экологического состояния в стране – за счет уменьшения негативного влияния транспорта на окружающую среду, уменьшения выбросов вредных газов, уменьшения загрязнения почвы и водоемов;
- поддержка развития отдельных отраслей национальной экономики (строительной, электротехнической, металлургической) за счет создания новых рабочих мест и повышения уровня поступлений в бюджет.

Исследования показали, что при электрификации железных дорог следует учесть большое количество разнообразных факторов, оказывающих влияние на целесообразность и эффективность введения электрической тяги на железнодорожных участках и направлениях, перспективных для электрификации. Поэтому обоснованной становится разработка методики формирования сети электрифицированных железных дорог, учитывающей характерные условия и особенности введения электрической тяги в Республике Беларусь.

Список литературы

1 Стратегия экономического развития Содружества Независимых Государств на период до 2020 года. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://cis.minsk.by/reestr/index.htm/#reestr/view/text?doc=2560>. – Дата доступа : 21.09.2017.

2 Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года. Сайт Федерального дорожного агентства Министерства транспорта Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://rosavtodor.ru>. – Дата доступа : 21.09.2013.

3 **Бродецкий, Г. М.** Методы оптимизации многокритериальных решений в логистике / Г. М. Бродецкий. – М., 2009. – 230 с.

4 **Быков, А. Ю.** Проблемы проектирования облика и мощности новых железных дорог и пути их решения (системный подход) : [монография] / А. Ю. Быков, С. М. Гончарук. – Хабаровск : ДВГУАС, 2004. – 239 с.

Получено 20.11.2017

V. Ya. Negrey, M. A. Maslovskaya. The electrification of the Belarusian railways is the factor of increase of efficiency and quality of its work.

The principal factors affecting the electrification of Railways: the terrain, the presence of power supply systems, the size of traffic on the railroad and their growth, the cost of electricity and diesel fuel. They emphasized the need to develop transport links between the regions, forecasting of volumes of cargo transportation by railway, the formation of a network of electrified Railways that take into account the conditions and characteristics of electrification in the Republic of Belarus.

УДК 656.225.073.46

И. А. ЕЛОВОЙ, доктор экономических наук, Е. Н. ПОТЫЛКИН, аспирант, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ПРИ ПОГРУЗКЕ ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ ИЗ ПРОИЗВОДСТВА В ПЕРЕВОЗОЧНЫЕ СРЕДСТВА

Учитывая сложившуюся тенденцию увеличения доли частных вагонов, задачи выбора оптимальных режимов взаимодействия магистрального и промышленного железнодорожного транспорта приобретают особую актуальность. Рассмотрены проблемные вопросы организации взаимной работы пути необщего пользования и станции примыкания, связанные с временным размещением вагонов грузоотправителей, грузополучателей. Разработана методика определения интервала между подачами вагонов под погрузку при погашении среднесуточной неравномерности использованием частных вагонов, находящихся во временном размещении.

В настоящее время работа железнодорожного транспорта в Республике Беларусь характеризуется ростом количества частного подвижного состава и его доли в общем парке вагонов, которая за период с 2014 по 2016 гг. увеличилась на 5 %. Рост парка вагонов сопровождается увеличением числа собственников подвижного состава. Управление частными вагонами осуществляется экспедиторскими организациями, инвентарными – диспетчерским аппаратом. При этом экспедиторы, учитывая интересы собственников подвижного состава, выполняют поиск наиболее доходного груза для перевозки.

В случае несогласования тарифа за перевозку груза вагон вынужден находиться на железнодорожном пути общего либо необщего пользования. Временное размещение вагонов на железнодорожных путях необщего пользования может быть вызвано как сезонной, так и среднесуточной неравномерностью. При временном размещении частных перевозочных средств собственник подвижного состава несет затраты, связанные с занятием железнодорожного пути. Возникает ситуация, которая характеризуется тем, что вагон не используется, соответственно владелец подвижного состава не получает прибыли. Как известно, основным показателем работы частного вагона является доходность в единицу времени, поэтому владелец перевозочного средства заинтересован в предоставлении вагона в пользование для различных целей или в аренду. Например, использовать вагон, временно размещающийся на железнодорожном пути необщего пользования, для погашения среднесуточной неравномерности. Поэтому открытым остается вопрос целесообразности предоставления вагонов в пользование для различных целей или аренду для отправителей, получателей, поскольку в таком случае появляется возможность содержать меньшие складские емкости. Однако при этом требуется большее путевое развитие.

Анализ железнодорожных путей необщего пользования в Республике Беларусь показал, что большая часть из них обслуживает промышленные предприятия, где объемы погрузки превышают объемы выгрузки. Кроме того, как видно из таблицы 1, большинство крупных промышленных организаций характеризуется круглосуточным непрерывным режимом работы. Для условий Республики Беларусь возможны различные варианты погрузки груза из производства в перевозоч-

ные средства, которые отражены на графе, приведенном на рисунке 1.

На графе представлены варианты погрузки груза в склад, затем в перевозочное средство, напрямую из производства в вагон, через промежуточную складскую емкость. Последний вариант характерен для таких грузов, которые не могут сразу быть погружены из производства в перевозочные средства. Например, цемент из производства поступает в горячем состоянии, поэтому перед погрузкой в вагон он должен охладиться. Для каждого случая рассмотрены варианты погашения неравномерности. Например, в соответствии с первым вариантом графа готовая продукция поступает на склад, где и гасится возникающая в процессе работы неравномерность.

В соответствии с разработанным графом, представленным на рисунке 1, построены технологические схемы продвижения вагонопотока, начиная от железнодорожной станции примыкания до грузового фронта пути необщего пользования для различных вариантов организации работ по погрузке продукции из производства в перевозочные средства. Пример одной из таких схем, когда готовая продукция поступает сначала на склад, а затем в вагон, представлен на рисунке 2.

В соответствии с рисунком 2 за время $t_1^{мин}$ происходит обработка прибывшей передачи, расформирование, накопление вагонов на состав подачи, за время $t_2^{мин}$ выполняется подача подвижного состава на грузовой фронт, t_1 соответствует продолжительности накопления продукции до величины Q_1 , а продолжительность погрузки партии груза в перевозочные средства равна t_2 . При этом период времени, через который выполняются подачи вагонов на грузовой фронт, составляет T . Средняя величина отправляемой партии груза

$$Q = \lambda T, \quad (1)$$

где λ – интенсивности производства продукции, т/ч.

Поскольку технологические операции в рассматриваемой модели имеют вероятностный характер, возможны задержка подачи вагонов на грузовой фронт, изменение интенсивности производства продукции и др. Величина резерва ΔQ , необходимого для компенсации неравномерности, определяется по формуле

$$\Delta Q = (K_{нер} - 1)\lambda T, \quad (2)$$

где $K_{нер}$ – коэффициент неравномерности.

Таблица 1 – Характеристика мест необщего пользования крупных промышленных организаций

Отделение дороги	Станция	Наименование организации	Расстояние подачи-уборки в оба конца, км	Вагонооборот, ваг/сут	Режим работы
НОД-1	Новолукомль	ОАО Минский завод строительных материалов, филиал КУ «Лукомль-1»	4,83	70,8	Круглосуточный
	Минск-Южный	ОАО «Керамин»	4,83	47,2	»
	Степянка	ОАО «Минский тракторный завод»	6,98	91,0	»
	Дубравы	ЭРУП «Путевая машинная станция №71»	4,83	118,2	Некруглосуточный
НОД-2	Ситница	ОАО «Гранит»	3,5	1021,6	Круглосуточный
	Аульс	ОАО «Гродно-Азот»	4,1	117,3	»
	Озерница	Слонимский ДСЗ	4,83	54,5	Некруглосуточный
	Рось	ОАО «Красносельскстройматериалы»	1,8	174,8	Круглосуточный
	Рось	Известковый завод	6,5	46,5	»
	Скидель	ОАО «Скидельский сахарный комбинат»	0,8	52,9	Некруглосуточный
	Барановичи-Сев.	Барановичский комбинат ЖБК	8,6	51,0	»
	Городея	ОАО «Городейский сахарный комбинат»	0,9	88,9	»
НОД-3	Жабинка	ОАО «Жабинковский сахарный завод»	4,83	98,6	Круглосуточный
	Пинск	ЗАО Холдинговая компания «Пинскдрев»	3,6	47,0	»
НОД-4	Гомель-Северный	ОАО «Гомельстройматериалы»	15	40,8	Некруглосуточный
	Центролит	ОАО «Гомельский химический завод»	4,83	86,0	Круглосуточный
	Жлобин	ОАО «БМЗ»	14,1	467,9	»
	Светлогорск-на-Березине	ОАО «Светлогорский ЦКК»	4,83	41,5	Некруглосуточный
	Барбаров	ОАО «Мозырский нефтеперерабатывающий завод»	4,2	303,6	Круглосуточный
	Житковичи	КУП «Гомельоблдорстройкомплект»	4,83	49,7	Некруглосуточный
НОД-5	Кричев-1	ОАО «Кричевцементошифер»	1,2	173,8	Круглосуточный
	Предзаводская	ОАО «Белорусский цементный завод»	4,83	105,2	»
	Калий	1-е рудоуправление ОАО «Беларуськалий»	4,83	44,9	»
		2-е рудоуправление ОАО «Беларуськалий»	4,83	44,9	»
		3-е рудоуправление ОАО «Беларуськалий»	4,83	44,9	»
		4-е рудоуправление ОАО «Беларуськалий»	4,83	44,9	»
	Слуцк	ОАО «Слуцкий сахарорафинадный комбинат»	5,6	71,0	»
	Бобруйск	ОАО «Белшин»	27	42,1	»
Заднепровская	ОАО «Могилевхимволокно»	3,2	75,7	»	
НОД-6	Придвинская	ОАО «Доломит»	1,2	290,4	Некруглосуточный
	Новополоцк	ОАО «Нафтан»	4,7	619,5	Круглосуточный

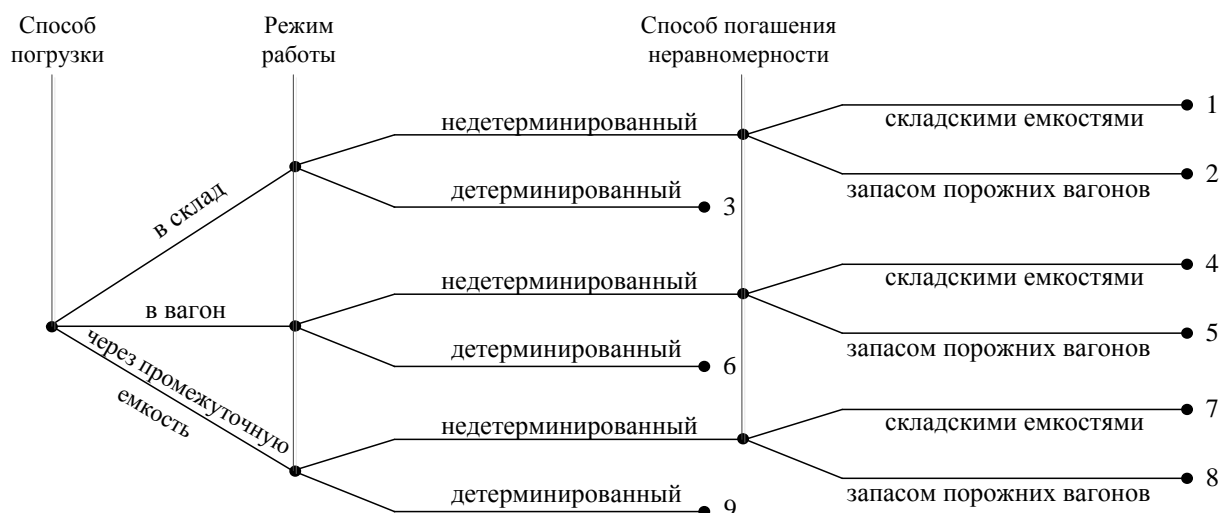


Рисунок 1 – Граф вариантов погрузки продукции из производства в перевозочные средства

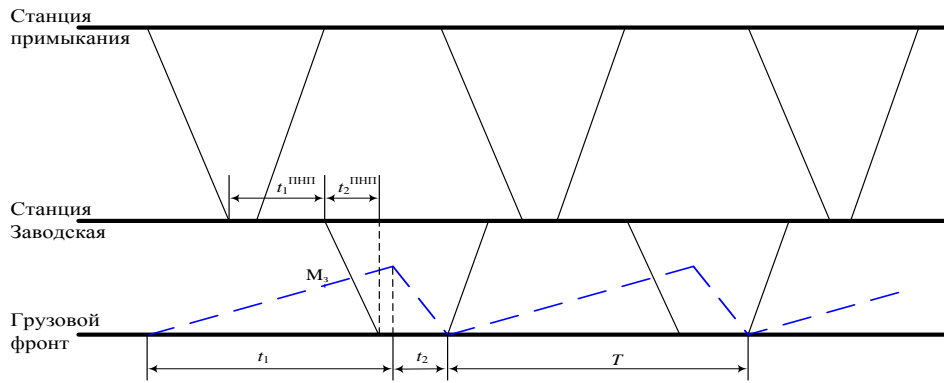


Рисунок 2 – Схема продвижения вагонопотока при поступлении готовой продукции сначала в склад, затем в вагон:
 — — подача (уборка) вагонов; - - - погрузка груза в вагоны

В ходе сбора и обработки исходных данных выявлено, что при вариации значений λ и T происходит изменение величины $K_{\text{нер}}$. Для установления весомости представленных параметров необходимо оценить значимость соответствующей выборочной дисперсии в сравнении с дисперсией воспроизводимости, обусловленной случайными факторами. С этой целью использован дисперсионный анализ, суть которого заключается в выделении и оценке отдельных факторов, вызывающих изменчивость изучаемой случайной величины. Проверка значимости оценок дисперсий производится по критерию Фишера. Если рассчитанное значение критерия Фишера окажется меньше табличного, то влияние рассматриваемого фактора нет оснований считать значимым. Если же рассчитанное значение критерия окажется больше табличного, то рассматриваемый фактор влияет на изменчивость средних значений изучаемой случайной величины [1, с. 75].

В ходе дисперсионного анализа определены расчетные и табличные значения критериев Фишера, которые составили:

- для параметра T – 303,9 и 5,32;
- для параметра λ – 313,6 и 4,41.

Таким образом, рассматриваемые факторы влияют на изменчивость средних значений изучаемой случайной величины.

Для установления зависимости коэффициента неравномерности использованы методы регрессионного анализа, которые относятся к экспериментально-статистическим методам составления математических моделей. После их применения к эмпирическим данным

получена формула для определения коэффициента неравномерности

$$K_{\text{нер}} = \left(\frac{24}{T} + 1,377 \right) \left(\frac{0,95}{\lambda} - 0,0026\lambda + 1 \right). \quad (3)$$

На рисунке 3 представлена схема продвижения вагонопотока при недетерминированном режиме работы системы для случая, когда произошла задержка передачи вагонов со станции примыкания на время $t_{\text{зад}}$, а для погашения неравномерности используются вагоны, находящиеся во временном размещении. При таком режиме работы модели должен учитываться момент заказа M_3 – момент времени, в который должна начинаться подача вагонов на грузовой фронт. С вагонами, прибывшими в составе задержанной передачи, необходимо выполнить операции обработки по прибытию, а на грузовой фронт в момент заказа уже необходимо выполнять подачу вагонов. В результате происходит подача подвижного состава, находившегося во временном размещении. При этом на грузовой фронт подаются вагоны в количестве $\Delta Q/P_{\text{ст}}$. Как видно из рисунка 3, изменение условий работы вызвало выполнение дополнительной маневровой работы

$$t_{\text{дмп}} = t_{\text{сорт}}^{\text{дмп}} + t_{\text{под}}^{\text{дмп}} + t_{\text{хр}}^{\text{дмп}}, \quad (4)$$

где $t_{\text{сорт}}^{\text{дмп}}$ – продолжительность сортировки временно размещенных вагонов на состав подачи размером $\Delta Q/P_{\text{ст}}$ вагонов, мин,

$$t_{\text{сорт}}^{\text{дмп}} = AN_{\text{гф}} + B \sum_{i=1}^{N_{\text{гф}}} \frac{\Delta Q_i}{P_{\text{ст}}}; \quad (5)$$

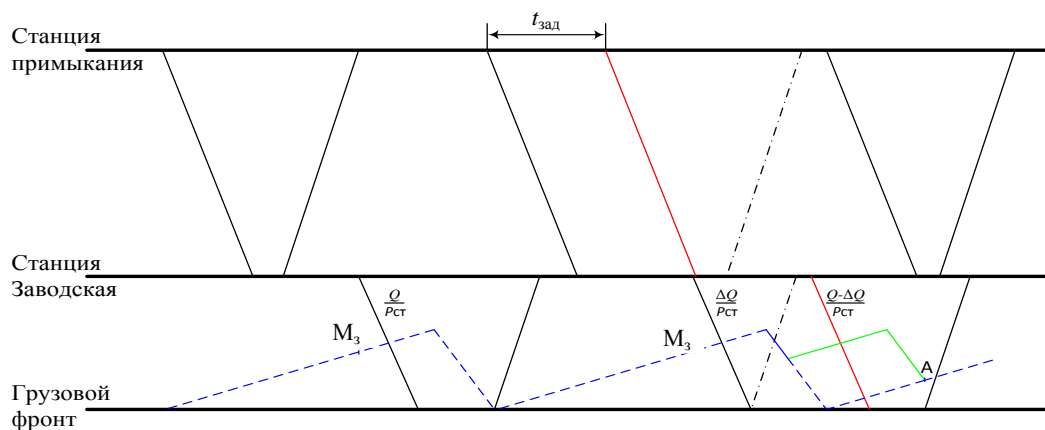


Рисунок 3 – Схема продвижения вагонопотока при погрузке продукции и задержке передачи вагонов со станции примыкания:
 — — подача (уборка) вагонов; - - - погрузка груза в вагоны; - · - · - холостой рейс локомотива

$t_{под}^{дмп}$ – продолжительность подачи вагонов на фронт, мин; $t_{хр}^{дмп}$ – продолжительность холостого рейса маневрового локомотива с грузового фронта на пути станции Заводская, мин. Продолжительности подачи вагонов на фронт, холостого рейса маневрового локомотива с грузового фронта определяются в соответствии с формулой полурейса

$$t_{н/р} = (\alpha_{рт} + \beta_{рт} m) \frac{v}{2} + 0,06 \frac{l_{н/р}}{v}, \quad (6)$$

где $\alpha_{рт}$ – коэффициент, учитывающий время, необходимое для изменения скорости движения локомотива на 1 км/ч при разгоне, и время, необходимое для изменения скорости движения локомотива на 1 км/ч при торможении, $\alpha_{рт} = 0,0407$ мин/(км/ч); $\beta_{рт}$ – коэффициент, учитывающий дополнительные изменения скорости движения, приходящиеся на один вагон в маневровом составе, на 1 км/ч при разгоне и дополнительное изменение скорости движения, приходящиеся на один вагон в маневровом составе, на 1 км/ч при торможении, $\beta_{рт} = 0,0017$ мин/(км/ч); m – количество вагонов в составе; v – допустимая скорость движения при маневрах, км/ч; $l_{н/р}$ – длина полурейса, м [2, с. 153].

Происходящее в настоящее время развитие рынка транспортных услуг постепенно приводит к клиентоориентированности процессов производства, доставки, реализации продукции. Поэтому взаимодействие железнодорожных станции и пути необщего пользования следует рассматривать с позиции грузовладельца, которого интересуют затраты, связанные с перевозкой продукции, начиная от пункта накопления и заканчивая пунктом потребления. Поэтому взаимодействие грузового фронта, станции Заводская и станции примыкания целесообразно исследовать в рамках логистической схемы доставки продукции (рисунок 4). При таком подходе к разработке модели учитываются основные принципы логистики: системный подход, учет совокупных логистических издержек, глобальная оптимизация и интеграция, использование теории компромиссов, моделирование и информационно-компьютерная поддержка, устойчивость и адаптивность.

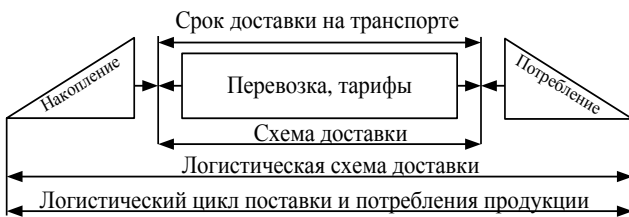


Рисунок 4 – Логистическая схема доставки продукции

Оценка конкурентоспособности различных вариантов погашения неравномерности позволяет определить издержки клиента железной дороги при осуществлении перевозочного процесса. На основании этой оценки возможно сделать вывод о применении того либо другого варианта погашения среднесуточной неравномерности при различных условиях работы.

После разработки возможных вариантов необходимо оценить уровень издержек по каждому из них. Затем выбирается оптимальный по критерию минимума затрат для клиента в соответствии с родом перевозимого груза, требованиями к сроку доставки,

условиями обеспечения сохранности груза, стоимости перевозки и т.д. Целевая функция, учитывающая издержки на одну тонну груза, имеет следующий вид:

$$F = Z_{хр} + П_{хр} + Z_{гр} + П_{гр} + Z_{мл} + П_{вз} + И_{в}^{гр} + Z_{хр}^{доп} + П_{хр}^{доп} + И_{в}^{нак} + Z_{врг}^{вар} + Z_{врг}^{пут} + Z_{дмп} + Z_{пу}^{лок} + П_{пу}^{зо} + П_{т} + П_{т}^{зо} + K_{скл}^{доп} + K_{путот}, \quad (7)$$

где $Z_{хр}$ – затраты, связанные с хранением отправки в пункте отправления, ден.ед./т; $П_{хр}$ – потери от замедления оборачиваемости оборотных средств за время хранения, ден. ед./т; $Z_{гр}$ – затраты, связанные с выполнением грузовых операций, ден. ед./т; $П_{гр}$ – потери от замедления оборачиваемости оборотных средств за время выполнения погрузочно-разгрузочных работ, ден. ед./т; $Z_{мл}$ – затраты, связанные с работой маневрового локомотива на железнодорожном пути необщего пользования, ден. ед./т; $П_{вз}$ – потери от замедления оборачиваемости оборотных средств за период времени с окончания погрузки до отправления передачи со станции Заводская, ден. ед./т; $И_{в}^{гр}$ – издержки, связанные с простоем вагонов под погрузкой готовой продукции, ден. ед./т; $Z_{хр}^{доп}$ – затраты, связанные с хранением дополнительной готовой продукции на складе, ден. ед./т; $П_{хр}^{доп}$ – потери от замедления оборачиваемости оборотных средств за время дополнительного хранения, ден. ед./т; $И_{в}^{нак}$ – издержки, связанные с простоем вагонов под накоплением на состав передачи по отправлению, ден.ед./т; $Z_{врг}^{вар}$ – затраты, связанные с временным размещением вагонов на железнодорожных путях станции Заводская, ден. ед./т; $Z_{врг}^{пут}$ – затраты, связанные с содержанием железнодорожных путей для временного размещения подвижного состава, ден. ед./т; $Z_{дмп}$ – затраты, связанные с выполнением дополнительной маневровой работы, ден. ед./т; $Z_{пу}^{лок}$ – затраты, связанные с работой локомотива за время подачи-уборки передачи, ден. ед./т; $П_{пу}^{зо}$ – потери от замедления оборачиваемости оборотных средств за время уборки передачи, ден. ед./т; $П_{т}$ – плата за перевозку грузов, ден. ед./т; $П_{т}^{зо}$ – потери от замедления оборачиваемости оборотных средств за время перевозки, ден. ед./т; $K_{скл}^{доп}$ – капитальные вложения на строительство дополнительных складских емкостей, ден. ед./т; $K_{путот}$ – капитальные вложения на строительство путей для временного размещения подвижного состава, ден. ед./т.

Вышеуказанные издержки можно объединить в отдельные группы:

- 1) возникающие в пункте отправления;
- 2) возникающие в процессе взаимодействия путей необщего пользования и станций примыкания;
- 3) возникающие в пути следования;
- 4) возникающие в пункте назначения.

Функция F непрерывна и дифференцируема по T . Поэтому оптимальное значение T можно определить из уравнения

$$\frac{dF(T)}{dT} = 0. \quad (8)$$

Решив уравнение (8) относительно T , получим

$$T = \sqrt{\frac{\frac{C_{лч} N_{л}}{60} \left(\frac{3\alpha_{пр} v_1}{2\lambda} + \frac{0,18 l_{п/р1}}{v_1 \lambda} + \frac{2AN_{гф}}{\lambda} + \frac{1,73}{\lambda} + \frac{\alpha_{пр} v_2}{2} + \frac{0,06 l_{п/р2}}{v_2} + \frac{b_v L}{\lambda} + W_1 \right)}{\frac{C_{хр}}{2} \left[1,377 \cdot \left(\frac{0,95}{\lambda} - 0,0026\lambda + 1 \right) - \frac{\lambda}{q_3} \right] + \frac{C_{вч}^{пр}}{P_{ст}} \left[1,377 \cdot \left(\frac{0,95}{\lambda} - 0,0026\lambda + 1 \right) + \frac{\lambda}{2q_3} \right] + W_2 + W_3 + W_4}}, \quad (9)$$

где $C_{лч}$ – стоимость 1 локомотиво-часа работы маневрового локомотива, ден.ед./лок·ч; $N_{л}$ – количество работающих на пути необщего пользования маневровых локомотивов; b_v – коэффициент, учитываемый при расчете платы за перевозку грузов; L – расстояние перевозки, км; $C_{хр}$ – плата за хранение 1 тонны груза в течение 1 часа, ден.ед./т·ч; q_3 – эксплуатационная производительность погрузочных устройств, т/ч; $C_{вч}^{пр}$ – стоимость вагоно-часа простоя, ден.ед./ваг·ч.

В формулу (9) введены переменные W_1, W_2, W_3, W_4 , которые рассчитываются следующим образом:

$$W_1 = \frac{24}{P_{ст}} \left(\frac{0,95}{\lambda} - 0,0026\lambda + 1 \right) (\beta_{пр} + BN_{гф}); \quad (10)$$

$$W_2 = \frac{\Pi_{гр} k_{инф}}{24T_{об}} \left[\frac{\beta_{пр} \lambda v_1}{48P_{ст}} + \frac{0,18 N_{гф} \lambda}{24P_{ст}} + 1,377 \cdot \left(\frac{0,95}{\lambda} - 0,0026\lambda + 1 \right) + \frac{\beta_{пр} N_{гф} \lambda v_2}{48P_{ст}} \right], \quad (11)$$

где $\Pi_{гр}$ – стоимость 1 тонны груза, ден.ед./т; $k_{инф}$ – коэффициент инфляционных ожиданий; $T_{об}$ – период оборачиваемости оборотных средств, сут;

$$W_3 = \left[\frac{1,377}{24 \cdot 365} \left(\frac{0,95}{\lambda} - 0,0026\lambda + 1 \right) - 1 \right] \left(\frac{e_{скл}^{ст} g K_{пр}}{P} + e_{ждп}^{ст} l_{ваг} \right), \quad (12)$$

где $e_{скл}^{ст}$ – стоимость строительства 1 м² склада, ден.ед./м²; g – ускорение силы тяжести; $K_{пр}$ – коэффициент, учитывающий площадь складских проездов, зависящий от применяемых средств механизации; P – допустимое

давление на 1 м² полезной площади склада, кН/м²; $e_{ждп}^{ст}$ – стоимость укладки (строительства) одного метра железнодорожного пути, ден.ед./м; $l_{ваг}$ – средняя длина вагона, обращаемого на пути необщего пользования, м/ваг;

$$W_4 = \left[1,377 \cdot \left(\frac{0,95}{\lambda} - 0,0026\lambda + 1 \right) - 1 \right] \cdot \frac{C_{сп}}{P_{ст}}, \quad (13)$$

где $C_{сп}$ – плата за занятие железнодорожного пути одним вагоном в течение 1 часа, ден.ед./ваг·ч.

Рассчитанное значение интервала между подачами T по формуле (9) используется при определении оптимального значения целевой функции F . Выбор оптимального варианта может производиться в зависимости от характеристик груза, используемого для перевозки подвижного состава, складских устройств, режима работы железнодорожного пути необщего пользования. На рисунке 5 представлена графическая модель поиска оптимального интервала между подачами вагонов под погрузку готовой продукции при погашении неравномерности использованием складских емкостей. Для приведенной на рисунке 5 модели заданы следующие условия работы: стоимость 1 тонны груза равна 200 дол./т, количество грузовых фронтов – 8, среднее расстояние подачи вагонов к месту погрузки – 500 м, среднее расстояние передачи вагонов с пути необщего пользования до станции – 500 м, плата за хранение 1 тонны груза – 0,166 дол./т в сутки.

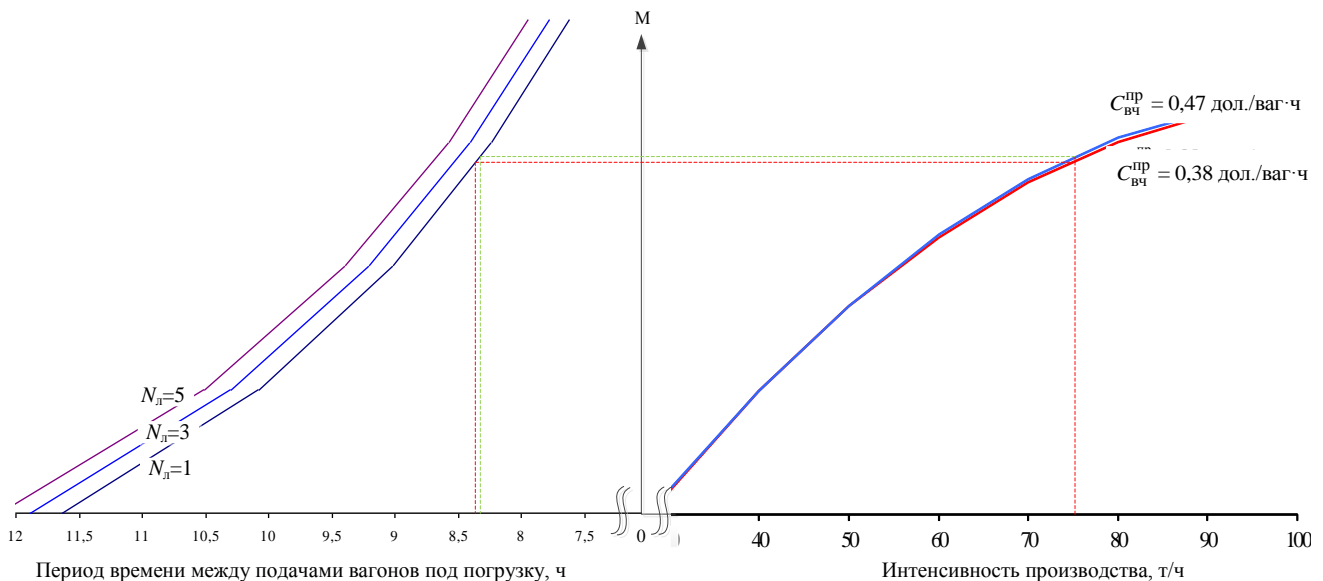


Рисунок 5 – Номограмма для определения оптимального интервала между подачами вагонов под погрузку продукции при погашении неравномерности складскими емкостями

Как видно из номограммы, представленной на рисунке 5, для заданных условий работы при интенсивности производства продукции 75 т/ч, стоимости вагоно-часа простоя вагона 0,38 дол./ваг·ч и работе двух маневровых локомотивов оптимальный интервал между подачами вагонов на места погрузки равен 8,4 ч, что соответствует реальным показателям и свидетельствует об адекватности разработанной модели. Ее применение позволяет решать как прямые задачи по установлению оптимального интервала между подачами вагонов под погрузку готовой продукции при погашении неравномерности использованием складских емкостей, так и обратные по определению количества локомотивов, интенсивности производства продукции, стоимости вагоно-часа простоя вагона в заданных условиях работы.

Выводы:

1 В настоящее время не решен вопрос целесообразности использования вагонов грузоотправителей, грузополучателей, временно размещенных на железнодорожных путях необщего пользования, для погашения среднесуточной неравномерности при погрузке готовой продукции.

2 В ходе исследования разработана методика определения оптимального среднего интервала между подачами вагонов при погашении неравномерности использованием частных вагонов, находящихся во временном размещении, основанная на теории управления запасами, комплексно учитывающая основные принципы логистики и неравномерность спроса на готовую продукцию, позволяющую определить путевое развитие железнодорожного пути необщего пользования, необходимое для временного размещения вагонов грузоотправителей, грузополучателей.

3 В разработанной методике среднесуточные колебания потока вагонов характеризуются коэффициентом неравномерности. В процессе исследования получена формула для определения его значения. На основании анализа критериев Фишера установлено влияние интенсивности производства и интервала между подачами вагонов на изменчивость случайной величины.

4 Разработана графическая модель по определению оптимального интервала между подачами вагонов для погрузки продукции при заданных условиях работы. В соответствии с ней для случая погашения неравномерности складскими емкостями (рисунок 5) при малой интенсивности производства 30–60 т/ч стоимость вагоно-часа простоя вагона практически не оказывает влияния на изменение оптимального интервала между подачами (T), а при большем значении λ период T становится все более чувствителен к изменению стоимости вагоно-часа простоя.

Список литературы

- 1 **Ахназарова, С. Л.** Методы оптимизации эксперимента в химической технологии : учеб. пособие для хим.-технол. спец. вузов / С. Л. Ахназарова, В. В. Кафаров. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1985. – 327 с.
- 2 Типовой технологический процесс работы сортировочной участковой станции Белорусской железной дороги: СТП БЧ 15–249–2012. – Введ. 2012–12–12. – Минск : Белорусская ж. д., 2012. – 241 с.
- 3 **Григорюк, В. Ф.** Оптимизация взаимодействия пунктов погрузки и выгрузки вагонов / В. Ф. Григорюк. – М. : Транспорт, 1986. – 79 с.
- 4 **Еловой, И. А.** Логистика : учеб.-метод. пособие / И. А. Еловой. – 2-е изд., перераб. и доп. – Гомель : БелГУТ, 2011. – 163 с.
- 5 **Еловой, И. А.** Основы коммерческой логистики : учеб.-метод. пособие / И. А. Еловой. – Гомель : БелГУТ, 2008. – 184 с.
- 6 **Еловой, И. А.** Интегрированные логистические системы доставки ресурсов : теория, методология, организация / И. А. Еловой, И. А. Лебедева; под науч. ред. В. Ф. Медведева. – Минск : Право и экономика, 2011. – 461 с. – (Сер. «Мировая экономика»).
- 7 **Еловой, И. А.** Интеграция предприятий в сложные логистические системы : науч. докл. / И. А. Еловой. под науч. ред. В. Ф. Медведева; Ин-т экономики НАН Беларуси. – Минск : Право и экономика, 2013. – 50 с. – (Сер. «Мировая экономика»).
- 8 Сборник правил перевозок и тарифов железнодорожного транспорта общего пользования. – Минск : Пересвет, 2013. – 424 с.

Получено 18.09.2017

I. A. Elovoy, Y. N. Potylkin. Optimization of work at loading of finished products from production to travel cars.

Taking into account the prevailing tendency to increase the share of private wagons, the problem of choosing the optimal modes of interaction between the main and industrial railway transport. Considered are the problematic issues of organization of mutual work of the sidetrack and the junction station associated with the temporary placement of the wagons of consignors and consignees. A methodology has been developed to assess the appropriateness of using private wagons in temporary accommodation to pay off the daily average unevenness when loading products from production into conveyances.

УДК 656.052:656.224

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

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ И ПРОИЗВОДСТВА НА ТРАНСПОРТЕ

Рассмотрены актуальные проблемы научно-методического обеспечения оптимального развития транспортных систем страны и производства на транспорте, предусматриваемого в Государственных программах развития транспортного комплекса Республики Беларусь. Приводятся основные положения по обоснованию мероприятий эффективного развития транспортного комплекса страны, включаемых в Государственные программы и подпрограммы.

Развитие транспортного комплекса страны обусловлено многими факторами, которые интегрируются в следующих направлениях: усиление транспортной инфраструктуры, создание нового производства транспортных средств, современных материалов и комплектующих частей, используемых при выполнении транспортной деятельности. При разработке стратегии развития транспортной системы, количественных изменений и трансформации их состояний формализуются интегрирующие изменения во времени функцией [6]

$$Z_s(t_z) = \int_0^t F(t) dt. \quad (1)$$

Если речь идёт о транспортном потоке, то он рассматривается как один из вариантов марковского процесса и описывается дифференциальным уравнением вида $\frac{dp_1(t)}{dt} = \lambda_{21}p_2(t) + \lambda_{31}p_3(t) - (\lambda_{12} + \lambda_{13})p_1(t)$, где λ_{21} – транспортный поток между вторым и первым элементами транспортной сети; p_2 – вероятность состояний транспортного потока.

При оптимизации развития транспортной системы страны, отражаемой в Государственных программах, имеет место оценка её состояния, производственных мощностей по технической эксплуатации и производству транспортных средств, элементов транспортной инфраструктуры. При этом рассматривается вариант, когда первоначальное состояние и развитие транспортной системы связаны между собой с учетом общего её состояния [1]. В таком случае для оценки эффективности развития транспортной системы используется описание переходных процессов с помощью систем дифференциальных уравнений, связывающих координаты состояния с интенсивностями нагрузки на неё, ресурсным обеспечением и результативностью функционирования:

$$\begin{aligned} \partial \bar{Z}(t) &= \Phi[\bar{Z}(t), \bar{Y}(t)]; \\ \bar{Y}(t) &= \varphi[\bar{Z}(t), \bar{X}(t)], \end{aligned} \quad (2)$$

где $\bar{Z}(t)$ – вектор состояния транспортной системы на момент разработки Государственных программ её развития; $\partial \bar{Z}(t)$ – интенсивность вектора состояния в зависимости от результативности работы системы; $\bar{X}(t)$ – вектор входных параметров (объём транспортного потока, ремонтов, производства транспортных средств); $\bar{Y}(t)$ – вектор результативности работы транспортной

системы (выход экспортного транспортного потока, поступление финансовых средств от функционирования транспортной системы и др.).

От величины вектора результативности зависит потребность в развитии транспортной инфраструктуры, состояние транспортных средств, потребность в обновлении, модернизации и организации их производства.

При разработке Государственных программ устойчивого развития транспортного комплекса страны использована задача оптимизации с ограничениями по объёму транспортного потока, финансированию намеченных мероприятий, их первоочередности и последующей потребности в изменившихся условиях функционирования. Если до 2000-го года основное развитие железнодорожной сети шло по направлению Север – Юг, то в 2010–2020 гг. – Восток – Запад). В данном случае задача оптимизации развития транспортной системы страны заключается в том, чтобы она работала динамично, была задействована вся сеть, а не отдельные её направления.

В теоретическом обосновании оптимального развития транспортной системы страны использованы основы теории транспортных систем и процессов [6]. В частности, развитие транспортной системы представлено уравнением вектора результативности с вектором входного воздействия для каждого элемента системы

$$\bar{Y}(t) = f[\bar{X}(t)], \quad (3)$$

где $\bar{X}(t)$ – вектор входных параметров транспортной системы (подсистемы);

$$\bar{Y}(t) = f[\bar{X}(t)]. \quad (4)$$

Норма вектора входного воздействия на транспортную систему рассматривается как точка притяжения цели, для которой выполняется развитие системы. Нормальными значениями входных воздействий на систему для разных её элементов могут быть различными, что в итоге соответствует $\bar{Y}_i(t) \neq \bar{Y}_k(t)$. При этом значение результативности развития транспортной системы может отличаться от ожидаемого, а отклонения типа $\Delta Y_i(t) = Y_k(t) - \bar{Y}_i(t)$ приведут к деформации её связей.

Необходимо отметить, что на развитие транспортной системы влияют два вида факторов: 1) внутренние, предусматривающие использование резервов собственных ресурсов; 2) внешние – привлечение ресурсов извне при внешнем воздействии на ход развития. Для самой транспортной системы рассматривается вариант аддитивного принуждения к развитию отдельных тех-

нологических элементов с учетом суммарного внутреннего и внешнего взаимодействия, т. е.

$$U(t_z) = \sum_{k=1}^K u_k[x_k(t_z)] + \sum_{m=1}^K u_m[m_k(t_z)], \quad (5)$$

где $u_k[x_k(t_z)]$ – внутреннее и $u_m[m_k(t_z)]$ внешнее воздействия на развитие транспортной системы (характерно для проведения электрификации направления Минск – Вильнюс, расположенного в двух экономических системах ЕС и ЕАЭС).

Оптимальная интеграция мероприятий по развитию транспортной системы с учетом использования возможностей новых субъектов (при производстве вагонов и электропоездов) достигается при выполнении условия

$$\sum_{k=1}^m u_k(t_z) = \frac{h_e^2}{2m\beta_k} + \frac{m\beta_k \bar{Y}(t)}{2}. \quad (6)$$

С учетом дополнительно возникающих и реализованных мероприятий развития определяется предел их количественного увеличения:

$$\frac{m\beta_k \bar{Y}^2(t)}{2} < \frac{h_e^2(m-1)}{2m\beta_k}. \quad (7)$$

При этом учитывается коэффициент устойчивого развития как самой транспортной системы h_e , так и обеспечивающих эту устойчивость организаций. При этом рассматривается значительная нагрузка на бюджет.

С учетом (1)–(8) определяется эффективность реализованной программы развития транспортной системы по основополагающим показателям [9]:

– *степень реализации мероприятий*, запланированных в программе,

$$\beta_i^{\text{факт}} = \frac{N_i^{\text{факт}}}{N_i^{\text{пл}}}, \quad (8)$$

где $N_i^{\text{факт}}$ – количество мероприятий, выполненных в полном объеме в установленный в Государственной программе отчетный период, из количества запланированных мероприятий; $N_i^{\text{пл}}$ – количество мероприятий, запланированных в установленный в Государственной программе отчетный период;

– *степень достижения планового значения целевого показателя*

$$\beta_i^{\text{план}} = \frac{W_i^{\text{факт}}}{W_i^{\text{пл}}}, \quad (9)$$

где $W_i^{\text{факт}}$ – значение целевого показателя, характеризующего задачи программы, фактически достигнутое на конец отчетного периода; $W_i^{\text{пл}}$ – плановое значение целевого показателя, характеризующего задачи программы;

– *степень решения задач программы*

$$\beta_{\text{реш}}^t = \frac{\sum_{i=1}^N \beta_i^{\text{факт}}}{N_i^{\text{пл}}}, \quad (10)$$

где $\sum_{i=1}^N \beta_i^{\text{факт}}$ – степень достижения планового значения целевого показателя, характеризующего задачи программы; $N_i^{\text{пл}}$ – количество целевых показателей, характеризующих задачи программы;

– *эффективность реализации программы*, оцениваемая в зависимости от значений степени решения задач подпрограммы и степени реализации мероприятий программы:

$$\pi_{\text{пл}}^t = \frac{\beta_{\text{реш}}^t + \beta_i^{\text{факт}}}{2f_i^{\text{факт}} / f_i^{\text{план}}}, \quad (11)$$

где $\beta_{\text{реш}}^t$ – степень решения задач программы; $\beta_i^{\text{факт}}$ – степень реализации мероприятий; $f_i^{\text{факт}}$ – объем фактически освоенных финансовых средств на реализацию подпрограммы в отчетном году; $f_i^{\text{план}}$ – объем запланированных финансовых средств на реализацию подпрограммы в отчетном году;

– *степень достижения планового значения целевого показателя*, характеризующего цель Государственной программы,

$$\beta_{\text{реш}}^{\text{г.п}} = \frac{W_i^{\text{факт}}}{W_i^{\text{пл}}}, \quad (12)$$

где $W_i^{\text{факт}}$ – значение целевого показателя, характеризующего задачи подпрограммы, фактически достигнутое на конец отчетного периода; $W_i^{\text{пл}}$ – плановое значение целевого показателя, характеризующего задачи программы;

– *степень достижения цели Государственной программы*

$$\beta_{\text{реш}}^{\text{г.п}} = \frac{\sum_{i=1}^K (\beta_{\text{реш}}^{\text{г.п}})_i}{N_i^{\text{факт}}}, \quad (13)$$

где $(\beta_{\text{реш}}^{\text{г.п}})_i$ – степень достижения планового значения целевого показателя, характеризующего цель Государственной программы; $N_i^{\text{факт}}$ – фактическое количество целевых показателей.

Динамика внедрения мероприятий по развитию транспортной системы страны по соответствующим периодам представлена на рисунке 1 [3].

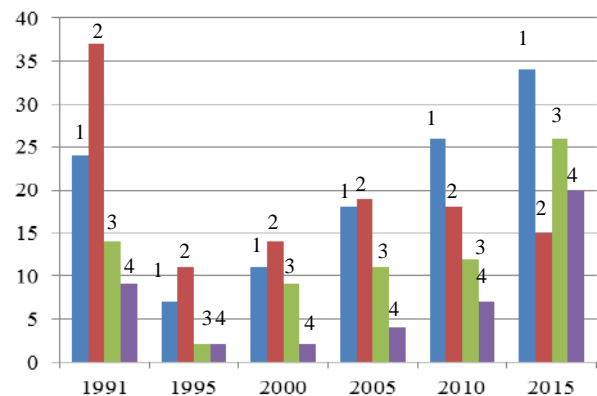


Рисунок 1 – Динамика внедрения мероприятий по развитию транспортной системы страны (млн дол.):

1 – автомобильный; 2 – железнодорожный; 3 – воздушный; 4 – водный

Из приведенной диаграммы видно, что по истечении шести пятилеток развития, в периоды 1995–2005 гг. в программах развития предусматривалось минимальное количество мероприятий. Это связано с гармонизацией развития транспортной системы и экономики страны в целом. Соответствующим изменениям подверглось и финансирование мероприятий (рисунок 2).

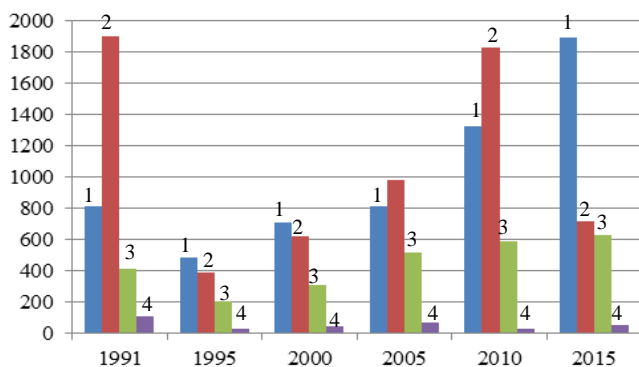


Рисунок 2 – Динамика финансирования развития транспортной системы страны (млн дол.):
1 – автомобильный; 2 – железнодорожный; 3 – воздушный;
4 – водный

На приведенной диаграмме отмечено, что наибольшее финансирование в 1991 г. выполнялось в мероприятия по развитию железнодорожного транспорта. В период функционирования республиканской транспортной системы в независимом регламенте (1995–2015 гг.) основное финансирование выполнялось на автомобильном транспорте. Это связано с тем, что развитию автомобильных дорог в регионе оказывалось минимальное необходимое внимание. По Программе развития транспортной системы Республики Беларусь в 2011–2015 гг. были модернизированы пять автомагистралей в соответствии со стандартами ЕС, связавших г. Минск с областными центрами страны.

Изменение условий функционирования транспортной системы страны и переход на условия бизнеса при освоении рынка транспортных услуг потребовало существенных вложений в транспортную инфраструктуру, её модернизацию и обновление [2]. Это связано также с тем, что за пользование транспортной инфраструктурой на всех видах транспорта создана возможность получения значительных доходов. Динамика финансирования обновления транспортной инфраструктуры в стране показана на рисунке 3.

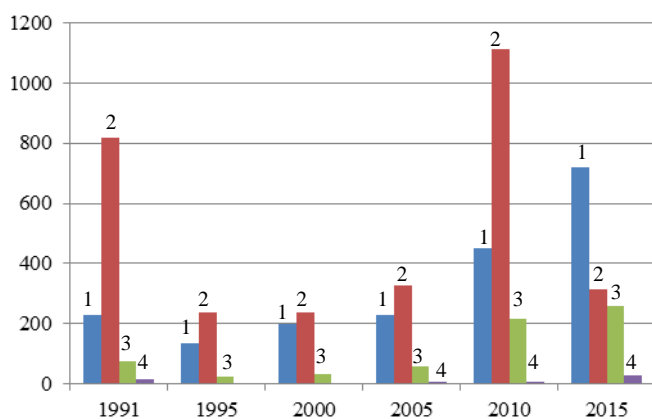


Рисунок 3 – Динамика финансирования обновления транспортной инфраструктуры (млн дол.):
1 – автомобильный; 2 – железнодорожный; 3 – воздушный;
4 – водный

Из приведенной диаграммы видно, что постепенно увеличивается финансирование мероприятий, направленных на развитие транспортной инфраструктуры.

При выделении критериев развития транспортной системы используется агрегированное планирование. Этот вид планирования не используется при определении потребности в транспортных средствах различной

модификации в агрегированных показателях (в интеграции с объемами и структурой перевозок, а также с технической эксплуатацией и наличием производственных мощностей транспортных организаций). Оно применяется в основном при формировании планов производства на транспорте: изготовление новых инновационных транспортных средств, техническая их эксплуатация по прогрессивным технологиям, модернизация и обновление [4].

Использование агрегативного планирования позволяет при разработке Государственной программы развития принимать важные глобальные решения при оценке состояния и потребности в транспортных средствах. Эффективность изменения парка транспортных средств (например, на железной дороге) с определенным уровнем износа может быть задано уравнением состояний [4]

$$Z(t_{\text{пл}}) = (1 - \Delta\varphi)z(t_0) + F_t(t_{\text{пл}}), \quad (14)$$

где $\Delta\varphi$ – процент износа транспортных средств; $F_t(t)$ – объём капиталовложений в развитие парка транспортных средств за рассматриваемый период.

Эффективность развития парка транспортных средств определяется ожидаемой величиной доходов от их использования в плановый период

$$Y_F(t_{\text{пл}}) = \sum_{j=1}^J [z_j(t_{\text{пл}})d_z + w_j d_w] + F_t(t_{\text{пл}}), \quad (15)$$

где $z_j(t_{\text{пл}})$ – плановый парк транспортных средств j -го вида транспорта; w_j – объём транспортной работы, выполненный парком транспортных средств; d_z, d_w – доходная ставка от аренды и использования транспортных средств.

В расчетах учитывается объём капиталовложений в развитие парка транспортных средств за рассматриваемый период при условии, что он приобретается у национальных производителей.

При составлении Государственных программ развития (обновления) парка транспортных средств главным критерием принимается степень его износа, что связано в первую очередь с безопасностью выполнения перевозок. Тогда состояние парка транспортных средств можно определить как

$$Z_{\text{тс}}(t_{\text{пл}}) = \sum_{j=1}^J [\mu_0 + n_t(t_{\text{пл}})z(t_0)]_j + \sum_{j=1}^J [\eta_0 - \Delta n_{\text{зам}}(t_{\text{пл}})]_j, \quad (16)$$

где μ_0, η_0 – агрегированные коэффициенты, определяющие износ транспортных средств; $n_t(t_{\text{пл}}), \Delta n_{\text{зам}}$ – количество приобретаемых (производимых) транспортных средств у национальных производителей и заменяемых по износу [5].

С учетом (17) определено финансирование обеспечения функционального назначения производства новых транспортных средств: для выполнения дополнительного объема перевозок; при изменении логистики перевозок, когда требуется дополнительный подвижной состав; для конкуренции; для поддержания собственного национального машиностроения (отрасли) и др. [11]. С учетом этих факторов в Государственных программах закладывалось финансирование на обновление транспортных средств с функциональным разделением мероприятий (рисунок 4).

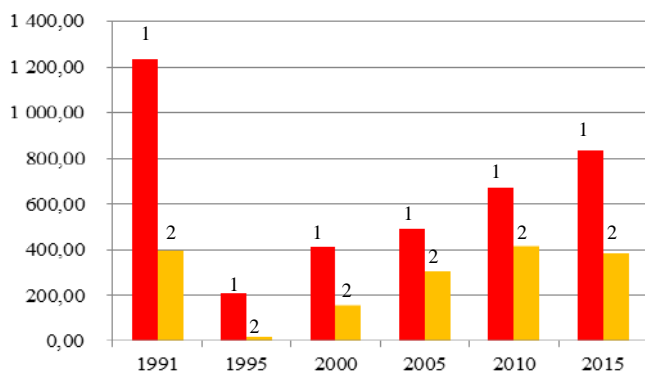


Рисунок 4 – Динамика финансирования обновления транспортных средств (млн дол.) производителями:
1 – белорусскими; 2 – иностранными

Из приведенной диаграммы видно, что с каждым периодом обновления транспортных средств основная доля финансирования направляется на приобретение их у белорусского производителя [8]. Следует отметить, что в период после 2015 г. значительная часть финансирования направляется на приобретение транспортных средств у иностранного производителя, которые не производятся в стране (авиационная техника, электровозы для грузового и пассажирского движения, автобусы для международного сообщения со странами ЕС, путеремонтная и автодорожная техника, автотранспортные средства для перевозки специальных грузов и др.). В 1991 г. большая доля закупок у иностранного производителя связана с налаживанием совместного производства железнодорожных (грузовых и пассажирских вагонов, маневровых локомотивов) и автодорожных (автобусов на МАЗе, трамваев и троллейбусов) транспортных средств. По результатам выполнения программ обновления транспортных средств достигнута положительная динамика их износа (рисунок 5).

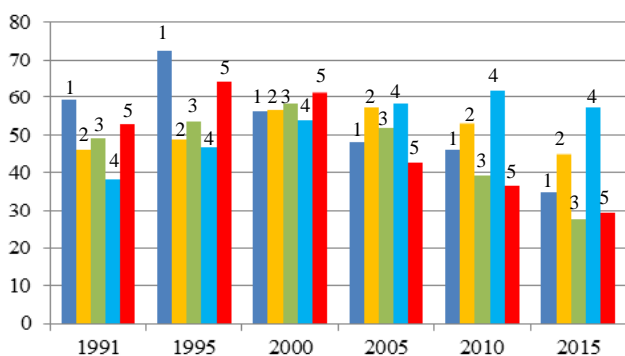


Рисунок 5 – Динамика износа транспортных средств после их обновления по периодам реализации программ развития:
1 – автомобильный; 2 – железнодорожный; 3 – воздушный;
4 – водный; 5 – горэлектротранспорт

Из приведенной диаграммы видно, что в период 1991–2005 гг. износ транспортных средств стабильно увеличивался. На момент приобретения республикой независимости (1991 г.) новыми были только пассажирские вагоны, приобретенные в ГДР, электровозы (для грузового и пассажирского движения), тепловозы. На других видах транспорта обновления транспортных средств на этот момент не выполнялось. Однако в период 1995–2015 гг.

шло интенсивное обновление автотранспортных средств и на городском электротранспорте, что связано с организацией на собственных заводах производства в стране автобусов, трамваев и троллейбусов. В последние две пятилетки налажен выпуск грузовых и пассажирских вагонов, маневровых тепловозов, моторвагонных поездов для региональных, межрегиональных и городских перевозок пассажиров (рисунок 6).



Рисунок 6 – Сборка городских электропоездов

Производство вагонов для пассажирских перевозок определило развитие устройств и предприятий по организации технической их эксплуатации. Однако с вводом в эксплуатацию двухэтажных вагонов на РЖД возможности её проведения оказались ограниченными на предприятиях Белорусской железной дороги. С учетом того, что размеры использования таких вагонов в совместной транспортной деятельности РЖД и БЧ будут нарастать в перспективе на направлениях Москва – Брест/Гродно и С.-Петербург – Брест/Гродно, то потребность в данном виде технической эксплуатации значительно возрастет. Для этого потребуются инновационное развитие вагонных (пассажирских) участков в Брестском и Гродненском железнодорожных узлах [7]. Остается проблемной также решение вопроса технической эксплуатации новых транспортных средств специального назначения (танк-контейнеров, специальных контейнеров и др.).

С поступлением на БЧ современных электровозов для грузового и пассажирского движения, российского, китайского и чешского производства, а также модернизированных тепловозов с использованием американского тягового модуля возникла потребность в инновационных технологических линиях для их диагностики и приёме в эксплуатацию после прохождения операций технической эксплуатации (рисунок 7).



Рисунок 7 – Стенд диагностики электровоза при приёме его в эксплуатацию

Большое значение для железнодорожного транспорта имеет организация производства основных быстроизнашиваемых элементов вагонов и локомотивов, например, колесных пар (рисунок 8).



Рисунок 8 – Автоматизированная линия по производству колесных пар

Организация такого производства требует на начальном этапе значительных капитальных вложений, которые начинают окупаться на 2–3-й год их выпуска (с учетом странового эффекта, рисунок 9).

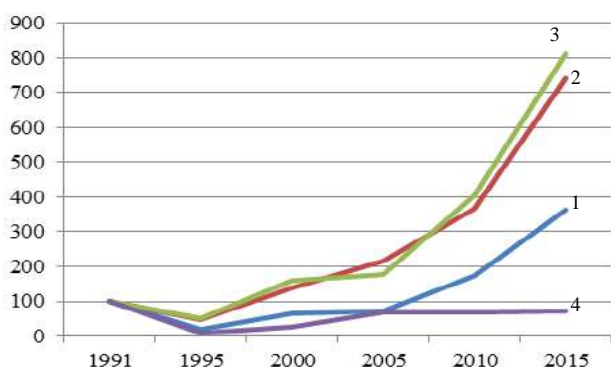


Рисунок 9 – Страновой эффект собственного производства транспортных средств:
1 – зарплата; 2 – затраты; 3 – налоги; 4 – импортозамещение

Страновой эффект учитывает создание новых рабочих мест и сохранение занятости, повышение социальной стабильности в стране, увеличение платежеспособности населения, рост экспорта, валютных и налоговых поступлений [10].

Получено 25.09.2017

A. A. Mikhalchenka, E. P. Gurskiy. Optimization of development of transport systems of the country and manufacture on transport.

The actual problems of scientific and methodical support of the optimal development of transport systems of the country and production on transport, envisaged in the State programs for the development of the transport complex of the Republic of Belarus, are considered. The main provisions for substantiating the measures of effective development of the country's transport complex included in the State programs and subprogrammes are given.

Выводы:

1 Развитие транспортной системы Республики Беларусь по всем их элементам за последние 24 года имеет положительную тенденцию. Из анализа статистических данных можно отметить значительное усиление транспортной инфраструктуры, создание новых видов инновационного производства.

2 За рассматриваемый период изменился статус транспортной системы страны – переход от решаемых ею задач стратегического объекта к задачам развития бизнеса на рынке транспортных услуг.

3 Принят новый подход к обновлению транспортных средств, который предусматривает оптимизацию их производства на национальных машиностроительных предприятиях и приобретение у иностранных производителей с учетом интегрального странового эффекта.

Список литературы

- 1 **Ветвицкий, Е. Е.** Моделирование транспортных процессов : учеб. пособие / Е. Е. Ветвицкий – Омск : СабАДИ, 2017. – 178 с.
- 2 **Сурин, А. В.** Инновационный менеджмент : учеб. / А. В. Сурин, О. П. Молчанова. – М. : ИНФРА-М, 2009. – 368 с.
- 3 **Михальченко, А. А.** Маркетинг на транспорте : учеб. пособие / А. А. Михальченко, М. И. Шкурин. – Гомель : БелГУТ, 2014. – 263 с.
- 4 **Negoita, C. V.** Management Applications of System Theory : teach. aid / C. V. Negoita. – Bucharest : UNR, 1986. – 243 p.
- 5 **Минько, Р. Н.** Организация производства на транспорте : учеб. пособие / Р. Н. Минько. – Гомель : БелГУТ, 2014. – 263 с.
- 6 **Основы теории транспортных систем и процессов : учеб. пособие / А. А. Михальченко [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2016. – 382 с.**
- 7 **Синельников, А. Ф.** Основы технологии производства и ремонта транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования : [монография] / А. Ф. Синельников. – М. : Изд. центр «Академия», 2013. – 320 с.
- 8 **Сенько, В. И.** Планирование инновационного развития производственной мощности вагоноремонтной базы : В. И. Сенько, Е. П. Гурский, А. А. Михальченко // Вестник БелГУТа : Наука и транспорт. – 2014. – № 1(28). – С. 4–8.
- 9 **Проблемы и перспективы развития транспортного комплекса : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Минск : БелНИИТ «Транстехника», 2016. – 286 с.**
- 10 **Расчёты эффективности хозяйственных мероприятий : А. А. Бевзелюк [и др.]. – Минск : Наука и техника, 1989. – 112 с.**
- 11 **Сенько, В. И.** Информационные модели в управлении вагонными парками : [монография] / В. И. Сенько, Е. П. Гурский. – Гомель : БелГУТ, 2010. – 296 с.

УДК 656.22

А. А. АКСЁНЧИКОВ, старший преподаватель, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ВЛИЯНИЕ ЗАТРАТ ВРЕМЕНИ НА ОПЕРАЦИИ ПО ОБРАБОТКЕ ПОЕЗДОВ, СЛЕДУЮЩИХ В МЕЖДУНАРОДНОМ СООБЩЕНИИ, НА СРОК ДОСТАВКИ ГРУЗА

Изложена методика определения юридического, технологического, контрольного и оперативного сроков доставки груза, которые необходимо учитывать при планировании и управлении продвижения поездов. По изложенной методике произведены расчеты описанных сроков доставки груза по двум направлениям: Брест – Орша и Гомель – Молодечно. На основании расчетов изложены выводы о влиянии времени, затрачиваемого на операции по обработке поездов, следующих в международном сообщении, на срок доставки груза.

В Минске в апреле 2017 года проходило XXXII заседание конференции генеральных директоров (ответственных представителей) железных дорог ОСЖД. На конференции было отмечено, что Белорусская железная дорога стремится эффективно использовать свой транзитный потенциал и позиционирует себя в качестве надежного партнера с точки зрения обеспечения выхода на рынки стран Европейского союза.

Для привлекательности транзитных перевозок необходимо постоянно совершенствовать технологические и технические аспекты перевозочного процесса, которые должны положительно влиять на срок доставки груза.

Для совершенствования технологического процесса необходимо планировать, контролировать и выполнять (управлять) срок доставки груза, который должен учитывать юридический, технологический, контрольный, оперативный сроки доставки груза.

Юридический срок доставки груза ($T_{ю}$) – срок доставки груза, рассчитанный в соответствии с Правилами перевозок грузов или установленный договором-контрактом на конкретную перевозку. Для участвующей в перевозке i -й дороги юридический срок доставки груза $T_{юi}$ устанавливается в зависимости от видов сообщения и отправки, скорости перевозок, тарифного расстояния, наличия начально-конечных и дополнительных операций в пределах данной дороги. Юридический срок доставки груза определяется по формуле

$$T_{ю} = t_{тар} + t_{доп}, \quad (1)$$

где $t_{тар}$ – срок доставки груза, исходя из расстояния, по которому рассчитывается плата за перевозку груза, сут; $t_{доп}$ – дополнительный срок на операции, связанный с отправлением и прибытием груза; при передаче грузов организации, оказывающей транспортно-экспедиционные услуги, или обратно; связанные с переадресовкой груза и др., сут,

$$t_{тар} = l/l_{тар}, \quad (2)$$

где l – расстояние, по которому рассчитывается плата за перевозку, км; $l_{тар}$ – норма суточного пробега поезда, км/сут.

Технологический срок доставки груза ($T_{т}$) – срок доставки груза, рассчитанный в соответствии с действующей нормативной организацией грузового движения

(план формирования грузовых поездов и график движения поездов). Технологический срок доставки груза $T_{т}$ может быть больше либо меньше юридического срока доставки груза $T_{ю}$ как по отдельным дорогам, так и в целом по маршруту следования. Это связано в основном с отклонениями вагонопотоков от тарифного маршрута следования и с неравномерным распределением по маршруту операций переработки и поездообразования на технических железнодорожных станциях.

Технологический срок доставки груза в международном сообщении будет определяться суммой времени нахождения поезда на территории i -й страны [1–3]

$$T_{т} = \sum_{i=1}^k t_{пер i}, \quad (3)$$

где $t_{пер i}$ – время нахождения поезда на территории i -й страны, ч; k – количество стран, встречающихся на пути следования груза.

Время нахождения поезда на территории i -й страны будет складываться из времени нахождения поезда на входной и выходной СПВ, времени обработки транзитного поезда на технических железнодорожных станциях данной страны и времени движения поезда между техническими железнодорожными станциями (рисунок 1), которое определяется по формуле

$$t_{пер i} = t_{СПВ}^{вх} + \sum_{i=1}^n t_{пер i}^{уч} + \sum_{j=1}^m t_{ст j}^{тех} + t_{СПВ}^{вых}, \quad (4)$$

где $t_{СПВ}^{вх}$, $t_{СПВ}^{вых}$ – время нахождения поезда соответственно на входной и выходной СПВ, ч; $t_{пер i}^{уч}$ – время, затрачиваемое на передвижение поезда по i -му железнодорожному участку, ч; n – количество i -х железнодорожных участков на пути следования; $t_{ст j}^{тех}$ – время нахождения поезда на j -й технической железнодорожной станции, ч; m – количество j -х технических железнодорожных станций.

Контрольный срок доставки груза ($T_{к}$) – срок доставки груза, по которому контролируется его выполнение. Для конкретного вагона на дороге i это время будет определяться по следующей формуле:

$$T_{ki} = \frac{T_{Ti}}{\sum_i T_{Ti}} \sum_i T_{юi}. \quad (5)$$

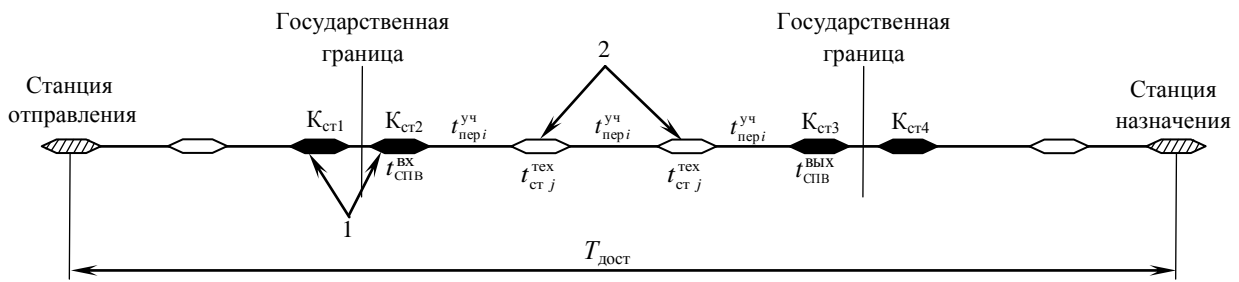


Рисунок 1 – Следование транзитного поезда по территории i -й страны:
1 – станции передачи вагонов; 2 – технические железнодорожные станции

Для перевозки в местном сообщении $T_{ki} = T_{юi}$.

Оперативный срок доставки груза (T_o) – динамическая характеристика срока доставки грузов (в отличие статических юридического, технологического, контрольного). Этот срок доставки груза для дороги i определяется с учетом оперативных корректировок плана формирования грузовых поездов и потерь (экономии) времени при перевозке по предшествующим ($i - 1$) дорогам. Срок доставки груза T_o используется при решении задач прогнозирования продвижения вагонов и планирования поездообразования.

На рисунке 2 представлено графическое соотношение нормативов сроков доставки груза ($T_{юi}$, T_T , T_{ki} и T_{oi}) при следовании поезда от железнодорожной станции погрузки до железнодорожной станции выгрузки через входную СПВ А, выходную СПВ Б и технические железнодорожные станции а, б, в. Основной линией 1 показано следование вагонов по нормативам сроков доставки согласно действующим Правилам перевозок грузов ($T_{ю}$), линия 2 – по нормативам плана формирования грузовых поездов и графика движения поездов (T_T), линия 3 – по нормативам контрольного времени (T_k), линия 4 – фактическое следование поезда (вагонов) (T_o).

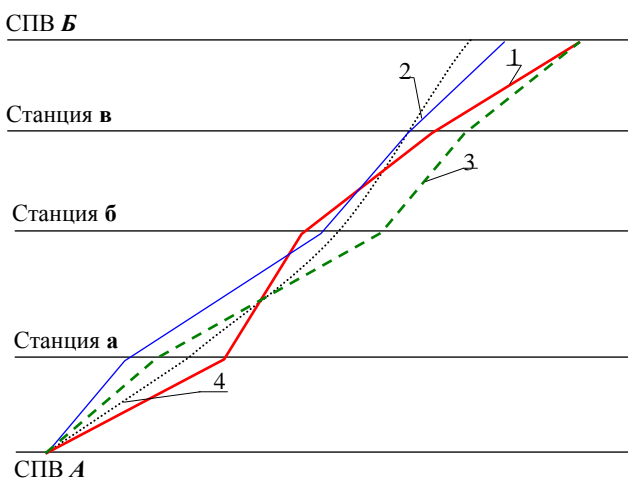


Рисунок 2 – Сроки доставки груза

Рассмотрим два направления следования транзитных грузовых поездов в международном сообщении через территорию Республики Беларусь (рисунок 3) из России в Литву [Гомель (Закопытье) – Молодечно (Гудогай)] и из Польши в Россию [Брест – Орша (Красное)].

Юридический срок доставки груза ($T_{ю}$) определяется по формуле (1). Грузовой поезд проходит транзитом через Республику Беларусь. Исходя из этого, $t_{доп}$ будет рав-

но нулю (так как никаких грузовых операций с грузом производиться не будет). В этом случае $T_{ю} = t_{тар}$, следовательно, будет рассчитываться по формуле (2). Расстояние, по которому рассчитывается плата за перевозку груза на расстояние (l) определяется по [4] и составит: из России в Литву [Гомель (Закопытье) – Молодечно (Гудогай)] $l = 378$ км; из Польши в Россию [Брест – Орша (Красное)] $l = 564$ км. При перевозке большой скоростью норма суточного пробега поезда ($l_{тар}$) определяется по [5] и составит для первого и второго случая $l_{тар} = 320$ км/сут. Тогда $T_{ю}^{\Gamma-Мл} = 378/320 = 1,18$ сут, $T_{ю}^{Бр-О} = 564/320 = 1,76$ сут.

Технологический срок доставки груза (T_T) определяется по формуле (4). Время, затрачиваемое на передвижение грузового поезда по железнодорожным участкам ($t_{пер}^{уч}$) определяется делением расстояния железнодорожного участка на среднюю скорость движения грузового поезда. Средняя скорость движения грузового поезда взята из «Справки о выполненных показателях по участкам дороги за 2016 год (ПО-4)», время нахождения грузового поезда на входной ($t_{спб}^{вх}$), выходной ($t_{спб}^{вых}$) СПВ и технических железнодорожных станциях ($t_{стj}^{тех}$) устанавливается технологическими процессами работы железнодорожных станций. Если поезд следует по удлиненному гарантийному участку качественного технического обслуживания грузовых вагонов, то на технических железнодорожных станциях время обслуживания будет равно нулю, т.к. поезд проходит без остановки.

При следовании грузового поезда из России в Литву он проходит входную СПВ Гомель, три технические железнодорожные станции Жлобин, Осиповичи, Минск и выходную СПВ Молодечно; тогда технологический срок доставки груза

$$T_T^{\Gamma-Мл} = t_{3-Г}^{уч} + t_{Г}^{вх} + t_{Г-Ж}^{уч} + t_{Ж}^{тех} + t_{Ж-О}^{уч} + t_{О}^{тех} + t_{О-Мл}^{уч} + t_{Мл}^{тех} + t_{Мл-Мл}^{уч} + t_{Мл}^{вых} + t_{Мл-Гуд}^{уч}; \quad (6)$$

$$T_T^{\Gamma-Мл} = 1,2 + 1,5 + 1,7 + 0 + 2,1 + 0 + 1,94 + 0,5 + 1,81 + 4,8 + 1,67 = 17,22 \text{ ч} = 0,72 \text{ сут.}$$

При следовании грузового поезда из Польши в Россию он проходит входную СПВ Брест, две технические железнодорожные станции Барановичи, Минск и выходную СПВ Орша.



Рисунок 3 – Маршрут движения транзитных грузовых поездов в международном сообщении из России в Литву и Польшу в Россию

$$T_{\tau}^{\text{Бр-О}} = t_{\tau-\text{Бр}}^{\text{уч}} + t_{\text{Бр}}^{\text{вх}} + t_{\text{Бр-Б}}^{\text{уч}} + t_{\text{Б}}^{\text{тех}} + t_{\text{Б-М}}^{\text{уч}} + t_{\text{М}}^{\text{тех}} + t_{\text{М-О}}^{\text{уч}} + t_{\text{О}}^{\text{вхк}} + t_{\text{О-К}}^{\text{уч}}; \quad (7)$$

$$T_{\tau}^{\text{Бр-О}} = 0,14 + 4,3 + 4,03 + 0 + 3,03 + 0,5 + 3,9 + 1,92 + 0,87 = 18,69 \text{ ч} = 0,78 \text{ сут.}$$

Контрольный срок доставки грузов (T_{κ}) будет равняться юридическому сроку доставки груза ($T_{\text{ю}}$), так как рассматривается движение грузового поезда в пределах одной дороги. Тогда $T_{\text{ю}}^{\Gamma-\text{Мл}} = T_{\kappa}^{\Gamma-\text{Мл}} = 1,18$ сут, $T_{\text{ю}}^{\text{Б-О}} = T_{\kappa}^{\text{Б-О}} = 1,76$ сут.

Оперативный срок доставки грузов ($T_{\text{о}}$) определен по исполненному графику движения поездов по Белорусской железной дороге и составил $T_{\text{о}}^{\Gamma-\text{Мл}} = 0,69$ сут, $T_{\text{о}}^{\text{Бр-О}} = 0,54$ сут. На рисунке 4 графически изображены рассчитанные сроки доставки груза.

Анализируя произведенные расчеты, можно сделать заключение, что расчетные сроки доставки груза ($T_{\text{ю}}$, T_{τ} , T_{κ}) разнятся от реального срока доставки груза ($T_{\text{о}}$).

Таким образом, при проведении контроля и оперативном управлении поезда, который влияет на срок доставки груза, необходимо учитывать различные факторы, которые могут влиять на него. Одним из таких факторов является количество СПВ и технических железнодорожных станций, встречающихся на пути следования грузового поезда и операций по контролю и обслуживанию, выполняемых с этим поездом на железнодорожных станциях.

Как указано выше, если поезд следует по удлиненному гарантийному участку качественного технического обслуживания грузовых вагонов, то на технических железнодорожных станциях время обслуживания будет равно нулю. Значит, в формулах (6) и (7) затраты времени на обслуживание поезда остаются только на входной и выходной СПВ.

Если принять времена хода поезда по железнодорожным участкам постоянным, то время, затрачиваемое на операции по обработке поездов, следующих в международном сообщении, влияет на срок доставки груза $T = f(t_{\text{обсл}})$. Чем дольше производятся приемо-сдаточные операции с поездом, тем больше будет срок доставки груза, и наоборот.

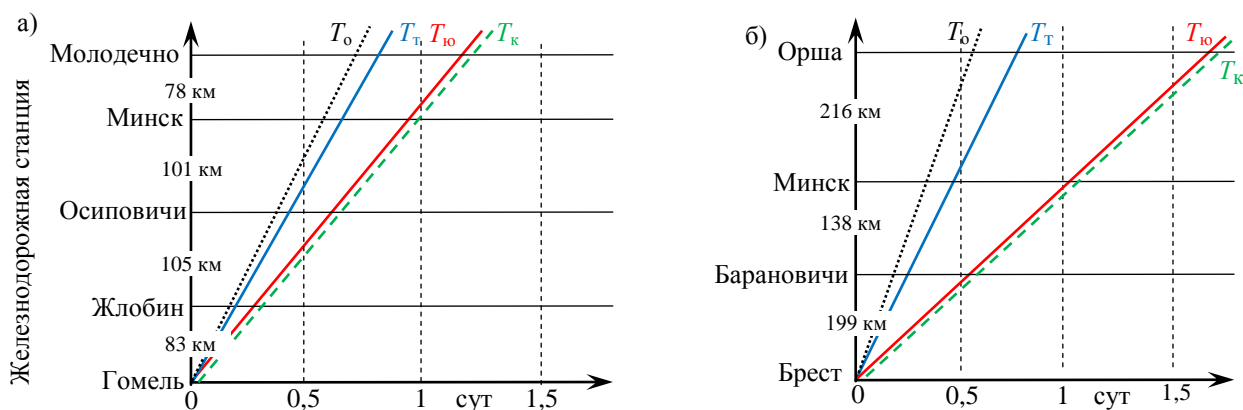


Рисунок 4 – Рассчитанные сроки доставки груза по направлениям:
 а – Гомель (Закопутье) – Молодечно (Гудогай), б – Брест – Орша (Красное)

Таким образом, совершенствуя технологию обслуживания поездов на СПВ (уменьшая время обслуживания), мы ускоряем срок доставки груза, что повышает конкурентоспособность и привлекательность Белорусской железной дороги на рынке транспортных услуг.

Список литературы

1 **Бородин, А. Ф.** Эксплуатационная работа железнодорожных направлений : Тр. ВНИИАС. Вып. 6 / А. Ф. Бородин. – М. : ВНИИАС, 2008. – 320 с.
 2 **Тишкин, Е. М.** Автоматизация управления вагонным парком / Е. М. Тишкин. – М. : Интекс, 2000. – 224 с.

3 **Аксёничков, А. А.** Уменьшения времени нахождения поездов межгосударственного сообщения на станциях передачи вагонов / А. А. Аксёничков, Е. А. Аксёникова // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2007. – № 1-2. – С. 63–66.

4 Тарифное руководство № 4. Кн. 3. Транзитные расстояния между транзитными пунктами. – М. : Транспорт, 2001. – 338 с.

5 Правила исчисления сроков доставки грузов железнодорожным транспортом общего пользования : [утв. постановлением М-ва трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь от 31.03.2008 № 40 (в ред. постановления Минтранса от 13.07.2015 № 33)].

Получено 22.09.2017

A. A. Aksyonchikov. Influence of time spent on train handling operations following in international traffic for the period of delivery of the cargo.

The article describes the methodology for determining the legal, technological, control and operational deadlines for cargo delivery, which must be taken into account when planning and managing the advancement of trains. According to the above methodology, calculations of the described terms of delivery of cargo in two directions Brest – Orsha and Gomel – Molodechno were made. Based on the calculations set forth conclusions about the impact of the time spent on processing trains in international traffic on the freight delivery time.

УДК 656.21:625.78:528.42

Р. С. АЛЕЙНИКОВ, аспирант, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ЛОКАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ КОММУНИКАЦИЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЯХ

Приведен обзор наиболее доступных технических методов съемки подземных коммуникаций, их основные преимущества и возможности применения.

Для проектирования, строительства и эксплуатации объектов на железнодорожном транспорте требуются точные данные о размещении всего комплекса подземных инженерных коммуникаций, а также сведения об их технических характеристиках. Как правило, имеющаяся исполнительная съемка объектов, ранее построенных, не соответствует действительности либо утрачена. Это вызывает необходимость проведения большого объема дорогостоящих инженерно-геодезических работ по съемке и составлению планов подземных инженерных коммуникаций.

Подземные коммуникации представляют собой комплекс сооружений с технологическими устройствами на них, предназначенные для транспортировки жидкостей, газов, энергии, информации, располагающиеся непосредственно под землей.

Наличие достоверной информации о месторасположении подземных коммуникаций является неотъемлемым условием:

- эксплуатации подземных коммуникаций;
- проектирования и строительства (реконструкции, модернизации) объектов, располагающихся в непосредственной близости от подземных коммуникаций либо на них;
- проектирования и строительства (реконструкции, модернизации) подземных коммуникаций.

В настоящее время съемка подземных коммуникаций производится в двух случаях. Во-первых, в процессе строительства, когда траншеи открыты и визуально доступны – исполнительная съемка. Во-вторых, в случае отсутствия, утраты либо недостаточной полноты и точности исполнительной съемки – съемка существующих коммуникаций. Следует отметить, что последний случай предполагает вариант съемки подземных коммуникаций без их визуального наблюдения и, соответственно, запрашивает больше времени и может содержать больше неточностей. При этом в случае отсутствия исполнительной съемки анализ состояния существующих подземных коммуникаций проводится без каких-либо исходных данных, и точность его результатов может существенно сэкономить материальные затраты на проектирование и строительство. Как правило, при проектировании всех видов объектов съемка существующих подземных коммуникаций проводится независимо от наличия исполнительной съемки и входит в состав проектно-сметной документации [2].

Объектами съемки подземных коммуникаций являются центры люков, колодцев и камер, выходы на поверхность труб и кабелей у вводов в здания и сооружения или в местах земляных работ, водоразборные колонки, распределительные шкафы, трансформаторные подстанции, станции перекачки, тепловые пункты и другие сооружения, технологически связанные с подземными коммуникациями.

Съемку подземных коммуникаций в зависимости от назначения планов, характера снимаемой территории и плотности размещения сетей, как правило, выполняют в масштабах 1:5000–1:500, а в отдельных случаях, для сложных мест промышленных площадок, – 1:200. На

промышленных и городских территориях съемку подземных коммуникаций выполняют, как правило, в масштабе 1:500 [1].

Работы по съемке и обследованию существующих подземных сооружений включают:

- сбор и анализ имеющихся материалов о подземных сооружениях (исполнительных чертежей, инженерно-топографических и кадастровых планов, материалов исполнительной и контрольной геодезических съемок, дежурные планы, исполнительные генеральные планы);
 - рекогносцировочное обследование (отыскание на местности подземных сооружений по внешним признакам);
 - детальное обследование подземных сооружений в колодцах (шурфах);
 - поиск и съемка подземных сооружений, не имеющих выходов на поверхность земли;
 - плановая и высотная съемки выходов подземных сооружений на поверхность земли и в колодцах;
 - составление плана и при необходимости схемы сетей подземных сооружений с их техническими характеристиками;
 - согласование полноты плана подземных сооружений и технических характеристик сетей, нанесенных на план, с эксплуатирующими организациями.

В условиях высокой плотности застройки железнодорожных станций большое скопление подземных коммуникаций и особенности различных видов грунтов могут ввести в заблуждение исполнителя съемки и существенно влиять на ее точность. Поэтому во избежание ошибочных результатов съемки и возможных дополнительных материальных затрат следует избирательно подходить к выбору оборудования для съемки подземных коммуникаций.

В настоящее время наиболее доступными являются методы локации подземных коммуникаций [3, 4]:

- 1) георадарный;
- 2) акустической локации;
- 3) инфракрасной термографии;
- 4) электромагнитной локации.

Георадарный метод. Георадар – радиолокатор, используемый для зондирования исследуемой среды, которой может быть земля, вода, стены зданий и т.п.

Георадар (рисунок 1) представляет собой геофизический прибор, основной блок которого состоит из электронных компонентов, выполняющих следующие функции: формирование импульсов, излучаемых пере-

дающей антенной, обработка сигналов, поступающих с приемной антенны, синхронизация работы всей системы. Таким образом, георадар состоит из трех основных частей: антенной части, блока регистрации и блока управления. Антенная часть включает передающую и приемную антенны. Под блоком регистрации понимается ноутбук или другое записывающее устройство, а роль блока управления выполняет система кабелей и опто-электрических преобразователей.



Рисунок 1 – Георадар

Методы поиска подземных коммуникаций, основанные на использовании электромагнитных волн, предназначены для точного обнаружения, определения габаритов и расстояния (глубины залегания) до подземных объектов. Локация подземных коммуникаций, в частности пластиковых трубопроводов или волоконно-оптических кабелей связи, стала развитием этого метода. С помощью радара достаточно трудно (в большинстве случаев, практически невозможно) отличить пластиковые трубы с водой от плотного грунта (например, влажная глина и земля). Однако георадары позволяют получить приблизительную картину расположения подземных кабелей и труб в различных типах грунтов. При этом даже в благоприятных условиях применения радаров необходимо иметь соответствующее представление о том, что находится или должно находиться под землей.

Высокая проводимость мелкозернистых осадочных пород – глин и наносов – резко снижают возможности прибора, а скальные и разнородные осадочные породы рассеивают его сигнал. Высокий уровень грунтовых вод также может отрицательно повлиять на результаты обследования. К тому же информация, получаемая по результатам работы георадара, очень сложна и требует интерпретации специалистом высокой квалификации и с большим опытом.

Метод акустической локации. Акустические методы получили наибольшее распространение при поиске утечек воды в подземных трубопроводах. Некоторые из них широко применяют для трассировки подземных водопроводов, в особенности пластиковых трубопроводов. Метод основан на прослушивании с поверхности земли акустическим датчиком сигнала, создаваемого генератором звуковых импульсов в трубопроводе.

Основным преимуществом данного метода является точность, обусловленная отсутствием электромагнитных помех.

Метод инфракрасной термографии. Температура подземных кабелей и труб может быть отличной от температуры окружающего грунта. Определение этой разности температур может быть достаточно эффективным методом локации подземных труб и кабелей. Однако эффективность этого метода сильно зависит от окружающих условий и значительно снижается в результате воздействия таких факторов, как солнечный свет или ветер. На практике эти методы имеют узкоспециальное применение: поиск пустот в канализационных коллекторах, а также локация разрывов, трещин и мест повреждений изоляционного покрытия на отдельных участках теплотрасс.

Метод электромагнитной локации. Это универсальный и самый распространенный метод локации и трассировки подземных коммуникаций. Достоинством этого метода является возможность получения большого объема информации, которая не может быть получена при использовании любой другой технологии. Этот метод имеет следующие отличительные черты:

- поиск с поверхности земли границ зон залегания подземных кабелей и труб;
- трассировка и идентификация определенных линий;
- трассировка и идентификация канализационных коллекторов или других неметаллических каналов и труб, к которым есть доступ; локализация закупорки и повреждений (с использованием миниатюрного проталкиваемого передатчика-«зонда»;
- измерение глубины залегания (расстояния от поверхности грунта до центра электромагнитного поля вокруг коммуникации) непосредственно с поверхности земли;
- портативность и небольшой вес оборудования (легко удерживается в руках) и возможность эффективного использования даже неопытными операторами;
- возможность использования трассоискателей с любыми типами грунта и даже под водой;
- небольшая стоимость оборудования и его отдельных комплектующих.

Основной недостаток метода электромагнитной локации заключается в том, что с его помощью не могут быть обнаружены пластиковые (вообще любые неметаллические) трубы.

Заключение. Таким образом, от типа коммуникаций, которые необходимо обследовать, зависит выбор методики и точности их локации.

Сравнительная характеристика наиболее доступных технических методов съемки подземных коммуникаций приведена в таблице 1.

При этом, учитывая что различные виды коммуникаций могут находиться в различных видах грунта, целесообразно разработать методику их локализации в зависимости от типов грунтов и материалов изготовления коммуникаций.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика наиболее доступных технических методов съемки подземных коммуникаций

Характеристика метода	Исследуемый вид коммуникаций	Примечание
Георадарный метод	Пластиковые трубопроводы, стальные трубопроводы, электрокабели, кабели связи	Невозможность применения в водонасыщенных грунтах
Метод акустической локации	Пластиковые трубопроводы, стальные трубопроводы	Поиск трубопроводов, транспортирующих воду
Метод инфракрасной термографии		Поиск трубопроводов, транспортирующих теплоноситель
Метод электромагнитной локации	Стальные трубопроводы, электрокабели, кабели связи	Невозможность поиска трубопроводов из пластика

Получено 16.04.2017

R. S. Aleinikov. Modern methods of location of underground communications at railway stations.

For the design, construction and operation of facilities on the railway transport, exact information is required on the location of the entire complex of underground engineering communications, as well as information on their technical characteristics.

As a rule, the existing shooting of previously constructed objects is not true, or is lost. This calls for a large amount of expensive engineering and geodetic work to survey and draw up plans for underground engineering communications. The article provides an overview of the most accessible technical methods for surveying underground utilities, their main advantages and application possibilities.

Список литературы

1 СНБ 1.02.01-96. Строительные нормы Республики Беларусь. Инженерные изыскания для строительства. – Мн. : М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 1996. – 110 с.

2 **Сытина, Н. Н.** Значение линий подземных коммуникаций в системе городской инфраструктуры / Н. Н. Сытина // Символ науки. – 2017. – № 01-2. – С. 233–235.

3 Трассоискатель [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://blog.cabledetection.ru/2010/11/blog-post_09.html. – Дата доступа : 15.03.2017.

4 Промышленное и гражданское строительство ПГС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pgs-student.blogspot.com.by/2014/02/Geodezicheskaya-syemka-podzemnykh-kommunikatsiy.html>. – Дата доступа : 15.03.2017.

УДК 656.072.6

В. Г. КУЗНЕЦОВ, кандидат технических наук, М. Ю. СТРАДОМСКИЙ, магистр технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМПЛЕКСА УСЛУГ ПРИ ПОЕЗДКАХ ПАССАЖИРОВ В ПОЕЗДАХ РАЗЛИЧНЫХ КАТЕГОРИЙ

Установлена динамика изменения транспортного рынка Республики Беларусь в сфере пассажирских перевозок и определена значимость качества услуг для повышения привлекательности железнодорожного транспорта для поездок пассажиров. Определены классификационные признаки услуг, предоставляемых пассажирам при проезде в поездах различных категорий, и их влияние на эффективность транспортной деятельности перевозчика. Установлены подходы к повышению уровня качества оказания услуг и основные критерии оценки качества услуг. Представлена целевая функция реализации клиентоориентированного подхода в сфере пассажирских перевозок на основе соответствия общесистемных параметров оказания услуг запросам пассажиров на момент их поездки и расчета для каждой услуги значений параметров качества. Предложено использование параметров качества услуг при обновлении транспортных ресурсов.

Транспортный рынок Беларуси в сфере перевозок пассажиров развивается с учетом таких факторов, как особенность географического местонахождения страны, плотность расположения населенных пунктов и занимаемая ими площадь, уровень агломерации и др. Исходя из этих факторов, в сегменте пассажирских перевозок на короткие расстояния (пригородное сообщение) преобладает автомобильный транспорт, средние расстояния (межобластное сообщение) и ближнее зарубежье – железнодорожный транспорт, дальнее зарубежье – воздушный транспорт.

Белорусская железная дорога является одним из основных перевозчиков пассажиров на транспортном рынке Республики Беларусь. Однако в последние годы удельный вес железнодорожного транспорта существенно снизился. Если в 2000 году железнодорожный транспорт обеспечивал свыше 50 % общего пассажирооборота, то к 2016 году этот показатель составил менее трети работы на транспортном рынке [1]. Одновременно в 2 раза уменьшилось и количество перевезенных пассажиров – с 167,8 до 81,8 млн (рисунок 1) [2].

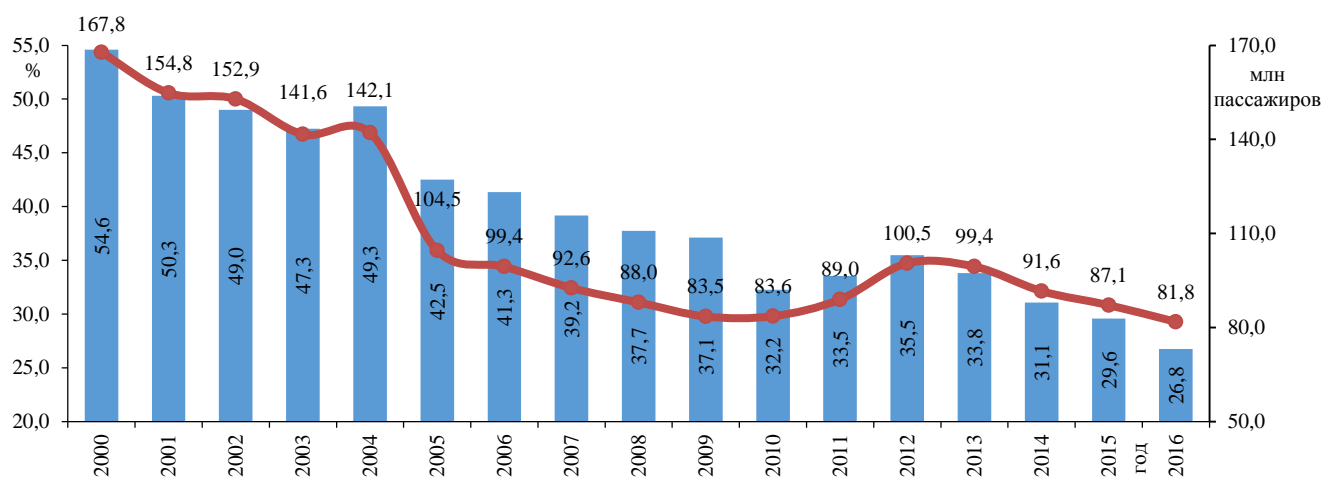


Рисунок 1 – Динамика изменения удельного веса пассажирооборота железнодорожного транспорта в пассажирообороте всех видов транспорта и количества перевезенных пассажиров железнодорожным транспортом в период с 2000 по 2016 гг.:

■ – удельный вес пассажирооборота железнодорожного транспорта;
—●— перевезено пассажиров железнодорожным транспортом

Автомобильные перевозчики осваивают весомую часть рынка пассажирских перевозок и составляют значимую конкуренцию Белорусской железной дороге в сегменте перевозок на средние расстояния и ближнее зарубежье. Для достижения позитивных тенденций развития перевозок пассажиров Белорусская железная дорога в последние годы разработала систему мер по повышению привлекательности поездок пассажирскими поездами: принята новая система организации пассажирских перевозок, приобретен новый подвижной состав, организовано движение поездов городского сообщения, внедрены электронные проездные документы

(билеты), реконструирован ряд вокзальных комплексов и др. [3].

Наиболее быстро развивается услуга по онлайн-продаже проездных документов (билетов). Выполнение мероприятий, принятых в Концепции развития электронных продаж и совершенствования системы оформления проездных документов (билетов), позволило повысить удобство процесса документального оформления поездки пассажира: удельный вес онлайн-продаж от общего количества оформленных проездных документов (билетов) постоянно увеличивается и вырос с 0,8 % в 2012 году до 13,0 % в 2016 году (рисунок 2) [4].

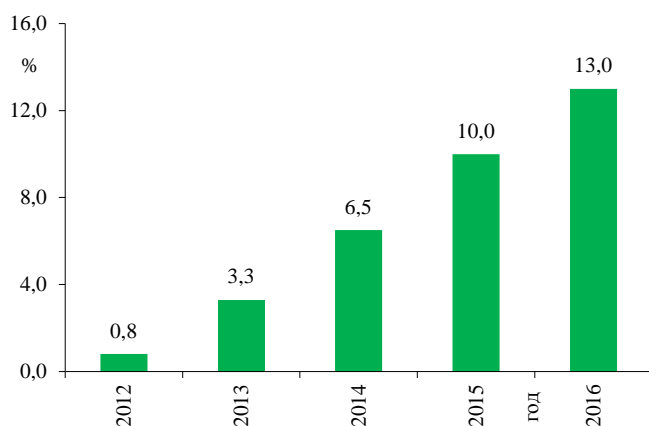


Рисунок 2 – Удельный вес онлайн-продаж от общего количества оформленных проездных документов (билетов) в период с 2012 по 2016 гг.

Для повышения эффективности системных мер организации пассажирских перевозок необходимо более детально учитывать транспортные интересы и возможности пассажиров. Пассажир выбирает вид транспорта для своей поездки на основе сравнения совокупности факторов: присутствие вида транспорта на маршруте, качество услуг, регулярность движения, цена и др. Наиболее существенным является ценовой фактор. Ранжирование пассажиром стоимости поездки производится за счет выбора скорости движения (бизнес-класс, экономкласс), класса салона вагона (купейный, общий и т. д.), вида сообщения (региональное, межрегиональное и т. д.) и сопоставления этих критериев со своей платежеспособностью.

Анализ транспортного рынка показывает, что помимо цены на выбор поездки влияют также такие условия, как комплекс предоставляемых услуг и комфорт. Если раньше пассажиру было достаточно предъявить поездку с базовым уровнем комфорта, то теперь необходимо предоставить большой спектр дополнительных и достаточно разнообразных услуг.

Оценку качества поездки пассажира [5, 6] необходимо рассматривать по двум пакетам услуг:

- выбор возможности поездки различными категориями поездов в необходимый пассажиру период времени (года, месяца, недели, суток) с учетом его платежеспособности;

- получение во время поездки качественных услуг, заявленных перевозчиком, и услуг, обеспечивающих личные потребности пассажира.

Оптимизация качества первого пакета услуг связана с покрытием расходов перевозчика за счет удовлетворения спроса на самые востребованные маршруты поездов пассажиров. Расширение услуг второго пакета определяется их рентабельностью с учетом технических и технологических возможностей реализации в поездах.

Перечень и требуемый уровень услуг, предоставляемых пассажирам в поездах (вагонах), должен формироваться в зависимости от категории поезда:

$$Y_j = U Y_{\text{осн } j} + U Y_{\text{доп } j}, \quad (1)$$

где $U Y_{\text{осн } j}$ – множество основных услуг, предоставляемых пассажирам в поездах j -й категории; $U Y_{\text{доп } j}$ –

множество дополнительных услуг, предоставляемых пассажирам в поездах j -й категории.

Основные услуги – это минимальный набор услуг в пути следования с гарантированным перевозчиком качеством поездки. Дополнительные услуги – это набор услуг на основе сопутствующих запросов пассажиров и обеспечения рентабельности оказания этих услуг.

Основные услуги должны соответствовать категории поезда, типу вагона и тарифной группе.

Дополнительные услуги должны соответствовать заявленным ожиданиям пассажиров, платежеспособности пассажиров (при оказании услуги за дополнительную плату) и востребованности среди пассажиров.

Основные услуги, предоставляемые пассажирам в поездах, можно классифицировать по условиям обеспечения:

- места поездки – предоставление пассажирам места размещения (спальный диван, спальная полка, кресло, место для сидения) и постельного комплекта (при поездке в вагонах с местами для лежания);

- купейного пространства оборудованием (приспособления для размещения одежды, вещей и т. п.) и местами для перевозки ручной клади;

- комфорта и удобства поездки – поддержание необходимого уровня микроклимата (соблюдение температурного режима, обеспечение вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений салона вагона); освещение помещений салона вагона (естественное, искусственное); эргономичная компоновка и планировка салона, купе, мест размещения пассажиров и иных элементов вагона; оснащение окон рулонными шторами с защитой от солнца и (или) света;

- информационными услугами – информирование пассажиров посредством визуальной информации (стенды об условиях поездки, таблички, пиктограммы и т. п.); трансляция информационных объявлений по поездной радиотрансляционной сети; трансляция видеoinформации об условиях поездки (мониторы, табло и т. п.);

- санитарно-гигиенической жизнедеятельности пассажиров – наличие туалетных комплексов и необходимых санитарно-гигиенических предметов и расходных материалов в них; сбор вторичных отходов; поддержание санитарно-гигиенического состояния помещений салона вагона, обеспечение регулярности уборки.

Дополнительные услуги, предоставляемые пассажирам в поездах, можно классифицировать по ряду признаков:

1) услуги торговли:

- реализация продуктов питания и напитков, в том числе с использованием принципов самообслуживания (торговые автоматы);

- обеспечение питанием в вагонах-ресторанах, вагонах-буфетах и других специализированных вагонах;

- реализация сувенирной продукции;

- реализация газет, журналов и другой печатной продукции;

2) услуги, обеспечивающие удовлетворение бытовых потребностей:

- предоставление в пользование бытовых предметов (одежных и сапожных щеток, средств личной гигиены и т. п.);

- зарядка мобильных телефонов, планшетов, ноутбуков и других портативных бытовых устройств;

- 3) информационно-развлекательные услуги:
- предоставление доступа в сеть Интернет и к информационно-развлекательным системам;
 - предоставление в пользование настольных игр;
- 4) сопутствующие услуги: перевозка велосипедов, излишней ручной клади, мелких домашних животных и птиц, багажа, грузобагажа.

Важным ограничением является оказание дополнительных услуг одним пассажирам без ухудшения условий поездки другим.

При реализации транспортной деятельности в условиях конкурентной среды со стороны других видов транспорта важно не только расширять перечень услуг, предоставляемых пассажирам в пути следования, но и обеспечивать необходимое качество их оказания. Предоставление и основных, и дополнительных услуг должно соответствовать определенному **уровню качества услуги** – совокупности характеристик услуги, обеспечивающих удовлетворение установленных или ожидаемых потребностей пассажиров. Соблюдение **требований соответствия качества услуги** оказывает существенное влияние на приоритеты пассажира при выборе вида транспорта для поездки.

Базовым условием формирования критерия качества услуги является **клиентоориентированность** при создании услуги. Клиентоориентированность в сфере пассажирских перевозок представляет собой прежде всего понимание перевозчиком (иными организациями железнодорожного транспорта) современных требований пассажиров к поездкам различных видов и эффективное удовлетворение ожиданий и потребностей пассажиров во время этих поездок.

Клиентоориентированный подход формируется железной дорогой (иными организациями железнодорожного транспорта) путем проведения мониторинга осуществляемого и возможного спектра существующих услуг, качества их оказания, маркетингового обследования рынка поездок пассажиров и оценки перспектив новых видов поездок (в том числе мультимодальных), определения технических, технологических и иных ограничений на оказание услуг и оценки их устранения, экономической оценки выгоды введения новых услуг с учетом затрат всех участников перевозочного процесса и реальной покупательской возможности пассажиров и других методов определения реальности развития спектра услуг и предложения их потребителям.

Целевая функция реализации клиентоориентированного подхода в сфере пассажирских перевозок может быть представлена как

$$Ц(Кл) = f\{A; Y_{осн}(A_{осн}^{п.у}); Y_{доп}(A_{доп}^{п.у}); R(Y_{осн}); R(Y_{доп}); E(Y_{осн}); E(Y_{доп})\}, \quad (2)$$

где A – прогнозируемый пассажиропоток на маршрутном назначении рассматриваемой категории пассажирского поезда; $Y_{осн}(A_{осн}^{п.у}); Y_{доп}(A_{доп}^{п.у})$ – пакет основных и дополнительных услуг, предоставляемых пассажирам; $R(Y_{осн}); R(Y_{доп})$ – потребные ресурсы, необходимые для реализации пакета основных и дополнительных услуг; $E(Y_{осн}), E(Y_{доп})$ – затраты, необходимые для реализации пакета основных и дополнительных услуг.

К основным общесистемным параметрам оценки предоставления услуг пассажирам в поездках различных видов (рисунки 3), можно отнести:

- наличие (присутствие услуги в ассортименте услуг, предоставляемых перевозчиком);
- доступность (состояние услуги, при котором пассажиры могут ее получить);
- информированность (осведомленность пассажиров относительно возможности получения услуги, ее особенностей, результатов получения и т. п.);
- своевременность (предоставление услуги в необходимый пассажиру или оговоренный срок с его участием или срок, в течение которого услуга будет предоставлена без его участия).

Общесистемные параметры должны соответствовать запросам на услуги пассажиров на момент времени (t) их поездки:

$$З(Y_t) \Leftrightarrow \{Y_{п.у}(t); P_t(Y_{п.у}); I_t(Y_{п.у}); T_t(Y_{п.у})\}, \quad (3)$$

где $Y_{п.у}(t)$ – пакет основных и дополнительных услуг на момент поездки пассажира; $P_t(Y_{п.у})$ – вероятность оказания услуги пассажиру, предусмотренной пакетом услуг; $I_t(Y_{п.у})$ – объем информации, необходимой для восприятия пассажиром пакета услуг; $T_t(Y_{п.у})$ – оказание услуги пассажиру в требуемый момент времени его поездки.

К параметрам оценки качества оказания услуги в поездах, а также на объектах инфраструктуры пассажирского сервиса, можно отнести:

- удобство (обеспечение условий поездки на объектах инфраструктуры и в подвижном составе – вагоне);
- комфортность (обеспечение условий жизнедеятельности пассажира во время поездки, а также на объектах инфраструктуры, с учетом обеспечения совокупности психологических и физиологических ощущений при получении услуги);
- безопасность (гарантия того, что услуга не причинит вред жизни, здоровью, имуществу пассажира и окружающей среде);
- экологичность (соответствие характеристик услуги и процесса обслуживания экологическим требованиям).

Для каждой услуги $K(Y)_{tj}$ необходимо установить соответствующие значения параметров качества:

$$K(Y)_{tj} \Leftrightarrow \{k_{уд}(t); k_{комф}(t); k_{без}(t); k_{эк}(t)\}, \quad (4)$$

где $k_{уд}(t); k_{комф}(t); k_{без}(t); k_{эк}(t)$ – соответственно, параметрические значения требований качества по удобству, комфортности, безопасности и экологичности организации поездки пассажира.

Кроме того, предоставление услуг при поездках пассажиров в поездах различных категорий должно соответствовать:

- установленному ассортименту;
- требованиям полноты предоставления заявленной при формировании услуги;
- требованиям технических нормативных правовых актов и иных документов, регламентирующих порядок предоставления услуг;
- стандартам перевозчика (Белорусской железной дороги и других участников перевозочного процесса);
- уровню квалификации и профессиональной подготовки обслуживающего персонала;
- техническому оснащению и оборудованию вагонов;



Рисунок 3 – Основные общесистемные параметры оценки предоставления услуг пассажирам в поездках различных видов

– возможностям технических устройств, используемых при предоставлении услуг.

Подвижной состав, используемый для пассажирских перевозок, имеет значительный жизненный цикл и требует периодической технической адаптации (модернизации) в соответствии с более динамичным по времени изменением запросов пассажиров на поездки. Техническое оснащение (в том числе компоновка) существующих пассажирских вагонов, прежде всего вагонов локомотивной тяги, ограничивает введение для различных сегментов пассажиропотока новых видов дополнительных услуг. Это является одной из причин отказа пассажиров от услуг железнодорожного транспорта, их переходу на другие виды транспорта и, как следствие, потере доходов пассажирских перевозчиков [7].

Поэтому при развитии комплекса услуг, предоставляемых пассажирам при поездках в поездах различных категорий, целесообразно придерживаться следующей управленческой последовательности: маркетинговые исследования потребностей пассажиров → формирование технических условий к пассажирскому подвижному составу (объектам инфраструктуры) → планирование закупок, аренды, модернизации наличного парка пассажирских вагонов, инфраструктуры, технических средств → предоставление новых услуг пассажирам.

При планировании приобретения новых (модернизации эксплуатируемых) пассажирских вагонов локомотивной тяги и моторвагонного подвижного состава необходимо:

– учитывать потребности и спрос пассажиров на услуги при различном времени в пути следования и на разных маршрутных направлениях;

– проводить анализ технических и технологических инноваций в сфере обслуживания пассажиров;

– оценивать уровень платежеспособности пассажиров при формировании планируемого комплекса услуг и их стоимости;

– проводить анализ перечня услуг конкурирующих видов транспорта;

– формировать дифференцированные эксплуатационные требования к оснащению и оборудованию нового пассажирского подвижного состава с учетом унифицированных базовых элементов;

– выстраивать инвестиционную политику с учетом перспектив востребованности маршрутных поездок, рынка развития пассажирских перевозок и инновационных возможностей.

Востребованность в отдельных видах дополнительных услуг может носить кратковременный характер. Поэтому перечень дополнительных услуг должен постоянно пересматриваться и адаптироваться к текущим запросам. Маркетинговые исследования показывают, что наиболее востребованными среди пассажиров направлениями развития услуг, которые можно предоставлять пассажирам в поездах различных категорий, являются:

– внедрение системы лояльности для пассажиров, часто пользующихся услугами железнодорожного транспорта (повышение класса обслуживания при значительном количестве свободных мест в салоне вагона соответствующего класса (типа); внедрение системы накопления баллов за совершенные поездки, которыми можно полностью либо частично погасить стоимость проездного документа (билета) и (или) получить скидки на дополнительные услуги в пути следования, и др.);

– расширение перечня услуг, включенных в стоимость проездного документа (билета), особенно пассажиров, осуществляющих поездки в вагонах с повышенным уровнем удобства и комфортности;

– расширение реализации продуктов питания, напитков и иных товаров, особенно в моторвагонном подвижном составе (установка торговых автоматов, реализация продукции в современных упаковках, прием предварительных заказов до начала поездки через сеть Интернет и др.).

В условиях государственного регулирования тарифов на железнодорожные пассажирские перевозки и высокой конкуренции со стороны других перевозчиков совершенствование системы предоставления комплекса услуг при поездках пассажиров в поездах различных категорий является одним из наиболее эффективных способов привлечения пассажиров, повышения конкурентоспособности и увеличения рентабельности пассажирских перевозок.

Список литературы

1 Пассажирооборот по видам транспорта [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/transport/godovye-dannye_12/passazhirooborot-po-vidam-transporta. – Дата доступа : 04.07.2017.

2 Перевозки пассажиров по видам транспорта [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/transport/godovye-dannye_12/perevozki-passazhirov-po-vidam-transporta. – Дата доступа : 04.07.2017.

Получено 19.10.2017

V. G. Kuznetsov, M. Yu. Stradomsky. Providing various services on trains of different categories.

The ongoing changes in the sphere of passenger transportation have been successfully studied and the options for further improvement determined. The above mentioned measures will help to increase the number of passengers, the quality of service and the carrier's efficiency. The quality of various transport services can be evaluated according to above mentioned criteria. All the mentioned findings can be used for transport resources renovation.

3 **Захаревич, А. А.** Формирование нового уровня пассажирских перевозок во внутривеспубликанском сообщении / А. А. Захаревич, В. Г. Кузнецов, И. М. Литвинова // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2015. – № 2 (31). – С. 23–27.

4 **Казачок, А. Н.** Интегрированная система продажи билетов как основа развития пассажирских перевозок // Презентация [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://transtekhnika.by/news/new1471.htm>. – Дата доступа : 11.10.2017.

5 СТП БЧ 20.341-2016. Порядок обслуживания пассажиров в поездах (вагонах) Белорусской железной дороги. – Минск : Бел. ж. д., 2016. – 85 с.

6 European Standard EN 13816 (2002). «Transportation – Logistics and services – Public passenger transport – Service quality definition, targeting and measurement» (English version) Management Centre: rue de Stassart, 36 B-1050 Brussels.

7 **Куликова, Е. Б.** Совершенствование системы обслуживания и технологии перевозок пассажиров при изменении эксплуатационных характеристик новых перспективных вагонов : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08 / Е. Б. Куликова; Моск. гос. ун-т путей сообщ. – М. : МГУПС, 2004. – 23 с.

УДК 656.222.4

О. А. ТЕРЕЩЕНКО, Ю. С. СИДОРОВИЧ, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ГРАФИКА ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

Приведен анализ состояния проблемы оценки энергоэффективности графика движения поездов и обзор соответствующих функциональных возможностей автоматизированных систем разработки ГДП. Установлено, что они не имеют широкого инструментария, необходимого специалисту для комплексного решения указанных задач. Представлен способ устранения данного недостатка за счет применения разработанной методики оценки энергоэффективности ГДП. Она основана на систематизации параметров, влияющих на затраты топлива и электрической энергии при организации движения поездов. Произведено нормирование расхода энергетических ресурсов методом тяговых расчетов для различных условий пропуска поездов по участкам Белорусской железной дороги. Представленную методику предлагается использовать в качестве основы алгоритмов, расширяющих возможности существующих систем разработки ГДП.

Эффективность перевозок в значительной мере определяется разработкой и внедрением энергоэффективных технических систем и технологических решений. График движения поездов, как система технологических нормативов, позволяет разрабатывать энергоэффективные решения пропуска поездов на участках железнодорожной инфраструктуры.

На Российских железных дорогах в настоящее время ведется активная работа по внедрению автоматизированного программного комплекса «Эльбрус» (АПК «Эльбрус»). Система осуществляет автоматизированное построение прогнозных энергосберегающих графиков движения поездов с учетом актуальных условий пропуска и поездной обстановки. На основании данных из системы ГИД «Урал-ВНИИЖТ» и данных нормативного графика движения поездов осуществляется построение вариантного графика в системе АПК «Эльбрус». Также выполняется энергооптимизация перегонных времен хода движения грузовых поездов. При этом система не обладает широким инструментарием, необходимым специалисту при разработке и комплексной оценке нормативных графиков движения поездов.

Основным программным средством, используемым для разработки нормативных графиков движения поездов на Белорусской железной дороге, является автоматизированная система «Графист». В настоящее время она позволяет осуществлять: автоматизированную разработку и корректировку графика движения поездов (ГДП), расчет показателей и формирование выходных форм для ГДП. Однако система не имеет модуля оценки энергоэффективности разработанных ГДП.

Таким образом, имеются предпосылки для разработки методики оценки энергоэффективности графика движения поездов, обеспечивающий устранение указанных недостатков и позволяющий на ее основе разрабатывать технологические и информационные решения. Достижение обозначенной цели предлагается осуществить за счет установления источников энергоэффективности ГДП и выработки методических подходов к оценке уровня их практической реализации.

Источниками энергоэффективности для графика движения поездов являются:

- сокращение общего времени стоянок поездов под операциями скрещения и обгона, уменьшение количества технических стоянок на участке и, как следствие, снижение числа разгонов и замедлений поездов;
- изменение используемых отдельных пунктов для

технических стоянок, обгонов и скрещений поездов с целью сокращения энергозатрат, связанных с разгоном и движением поездов, за счет благоприятного профиля пути;

- оптимизация режимов ведения поездов;
- уменьшение скорости движения поездов на отдельных перегонах (между заложенными в графике стоянками поездов) без увеличения общего времени хода поезда по участку;
- максимальное использование силы тяги локомотива за счет оптимизации тягового обеспечения поезда и его массы;
- организация движения поездов с оптимальным использованием рекуперативного торможения.

Энергоэффективность графика движения поездов может быть оценена по следующим направлениям:

- энергоэффективность разработанного ГДП в сравнении с другим (эталонным или разработанным ранее) ГДП. Способ применим в случаях одинакового числа поездов всех категорий (только при изменении условий пропуска поездов);
- энергоэффективность в рамках разработанного ГДП для выделенной «нитки» или фрагмента графика. Способ применим при сравнении условий пропуска поезда по выделенной «нитке» (изменение отдельных пунктов, числа и продолжительности стоянок, скорости движения и т.п.);
- удельная энергоэффективность, приходящаяся в среднем на одну «нитку» разработанного ГДП, в сравнении с другим (эталонным или разработанным ранее) ГДП;
- удельная энергоэффективность, приходящаяся в среднем на одну «нитку» разработанного ГДП для поездов выделенной категории, в сравнении с другим (эталонным или разработанным ранее) ГДП.

Таким образом, энергоэффективность для случаев общего сравнения графиков движения поездов или отдельных категорий поездов может быть выражена (при одинаковом количестве поездов) следующим образом:

$$\Delta \Theta = \sum_{i=1}^{N_s} A_{ni} e_{\text{кВт}\cdot\text{ч}} + \sum_{j=1}^{N_r} E_n e_{\text{кВт}} - \sum_{i=1}^{N_s} A_{pi} e_{\text{кВт}\cdot\text{ч}} - \sum_{j=1}^{N_r} E_p e_{\text{кВт}}, \quad (1)$$

где A_{ni} , A_{pi} – расход электрической энергии по i -й «нитке», соответственно, нормативного (эталонного, предыдущего) и разработанного графика движения поездов, установленный методом тяговых расчетов, кВт·ч;

E_n, E_p – расход (условного) топлива по j -й «нитке», соответственно, нормативного (эталонного, предыдущего) и разработанного графиков движения поездов, установленный методом тяговых расчетов, кг; $e_{\text{кВт}\cdot\text{ч}}$ – стоимость 1 кВт·ч электрической энергии, руб.; $e_{\text{кг}}$ – стоимость 1 кг (условного) топлива, руб.; N_3 – количество «ниток» графика, обслуживаемых электровозами; N_T – количество «ниток» графика, обслуживаемых тепловозами.

Расчетная энергоэффективность при сравнении удельных показателей (на одну «нитку» графика или на одну «нитку» выделенной категории поездов)

$$\Delta \mathcal{E}_y = \frac{\sum_{i=1}^{N_3^{1\text{вар}}} A_{\text{нр}} e_{\text{кВт}\cdot\text{ч}} + \sum_{j=1}^{N_T^{1\text{вар}}} E_n e_{\text{кг}}}{N_3^{1\text{вар}} + N_T^{1\text{вар}}} - \frac{\sum_{i=1}^{N_3^{2\text{вар}}} A_{\text{нр}} e_{\text{кВт}\cdot\text{ч}} + \sum_{j=1}^{N_T^{2\text{вар}}} E_n e_{\text{кг}}}{N_3^{2\text{вар}} + N_T^{2\text{вар}}}, \quad (2)$$

где $N_3^{1\text{вар}}, N_T^{1\text{вар}}, N_3^{2\text{вар}}, N_T^{2\text{вар}}$ – соответственно, количество «ниток», обслуживаемых электровозами и тепловозами по вариантам.

С целью оптимизации вычислений при автоматизированном определении энергоэффективности ГДП должны предварительно сравниваться. Для «ниток», проложенных по одинаковому расписанию, расчеты не должны проводиться.

Так как метод тяговых расчетов требует при большом числе «ниток» поездов значительных вычислительных ресурсов и, как следствие, значительных затрат времени, то для приближенной оценки энергоэффективности предлагается воспользоваться выражениями:

– для одной «нитки» графика при тепловозной тяге –

$$\mathcal{E}_m^1 = e_{\text{кг}} \left(\Delta t_{\text{ст}}^T a_{\text{ст}}^T + \Delta n_p^T a_p^T + \Delta t_x^T a_x^T \right); \quad (3)$$

– для одной «нитки» графика при электровозной тяге –

$$\mathcal{E}_3^1 = e_{\text{кВт}\cdot\text{ч}} \left(\Delta t_{\text{ст}}^3 a_{\text{ст}}^3 + \Delta n_p^3 a_p^3 + \Delta t_x^3 a_x^3 \right); \quad (4)$$

– в среднем на одну «нитку» графика –

$$\Delta \mathcal{E} = \frac{N_3 e_{\text{кВт}\cdot\text{ч}} \left(\Delta t_{\text{ст}}^3 a_{\text{ст}}^3 + \Delta n_p^3 a_p^3 + \Delta t_x^3 a_x^3 \right) + N_T e_{\text{кг}} \left(\Delta t_{\text{ст}}^T a_{\text{ст}}^T + \Delta n_p^T a_p^T + \Delta t_x^T a_x^T \right)}{N_3 + N_T}, \quad (5)$$

где $\Delta t_{\text{ст}}^3, \Delta t_{\text{ст}}^T$ – изменение средней продолжительности стоянки поезда, приходящееся на одну «нитку» графика, для электровоза и тепловоза, мин; $a_{\text{ст}}^3, a_{\text{ст}}^T$ – средний расход, соответственно, электрической энергии электровозом (кВт·ч) и топлива тепловозом (кг) на холостом ходу в течение 1 мин; $\Delta n_p^3, \Delta n_p^T$ – изменение среднего числа стоянок поездов, приходящееся на одну «нитку» графика, для электровоза и тепловоза, мин; a_p^3, a_p^T – средний дополнительный расход, соответственно, элек-

трической энергии электровозом (кВт·ч) и топлива тепловозом (кг), приходящийся на один разгон, с учетом сокращения расхода электрической энергии и топлива, приходящегося на одно замедление; $\Delta t_x^3, \Delta t_x^T$ – среднее увеличение времени хода (без учета стоянок), приходящееся на одну «нитку» графика, для электровоза и тепловоза, мин; a_x^3, a_x^T – среднее сокращение расхода электрической энергии электровозом (кВт·ч) и топлива тепловозом (кг), связанное с уменьшением перегонного времени хода на 1 мин.

При использовании замены $\gamma_{3(T)} = \frac{N_{3(T)}}{N_3 + N_T}$ выражение принимает вид

$$\mathcal{E} = \gamma_3 N_3 e_{\text{кВт}\cdot\text{ч}} \left(\Delta t_{\text{ст}}^3 a_{\text{ст}}^3 + \Delta n_p^3 a_p^3 + \Delta t_x^3 a_x^3 \right) + \gamma_T N_T e_{\text{кг}} \left(\Delta t_{\text{ст}}^T a_{\text{ст}}^T + \Delta n_p^T a_p^T + \Delta t_x^T a_x^T \right). \quad (6)$$

Средние значения расхода электрической энергии и топлива для показателей, входящих в формулы (3) и (4), предлагается нормировать методом тяговых расчетов для основных типов локомотивов эксплуатируемого парка Белорусской железной дороги с усреднением значений пропорционально долям этих локомотивов в эксплуатируемом парке.

В результате проведенных исследований для каждого типа локомотива рассчитаны значения технической скорости, времени хода и расхода электроэнергии (топлива) по шести различным участкам Белорусской железной дороги в зависимости от максимально разрешенного значения скорости следования по конкретному участку. В качестве исследуемого объекта был принят состав поезда массой 2859 т и длиной 50 условных вагонов для тепловозной тяги, 3524 т и 61 условный вагон при электровозной тяге. Принятые значения являются средними для полигона Белорусской железной дороги за 2016 год.

Также установлены математические зависимости удельного расхода энергетических ресурсов от технической скорости движения поезда по участку. Графики этих зависимостей приведены на рисунках 1–3.

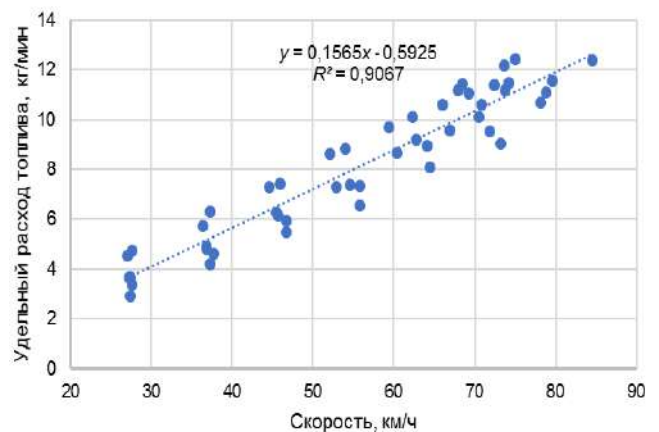


Рисунок 1 – Зависимость удельного расхода топлива тепловозом 2ТЭ10 от скорости

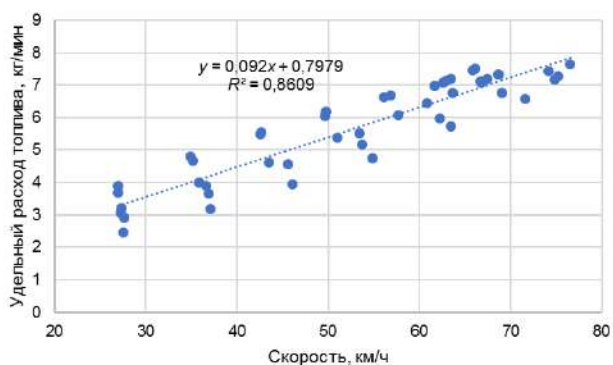


Рисунок 2 – Зависимость удельного расхода топлива тепловозом 2М62 от скорости

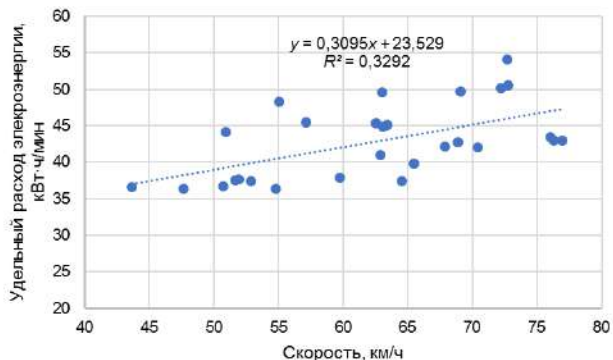


Рисунок 3 – Зависимость удельного расхода электроэнергии электровозом ВЛ80 от скорости

Как следует из представленных графиков, зависимости имеют линейный характер. Удельный расход энергетических ресурсов возрастает при росте скорости движения поезда.

На полигоне Белорусской железной дороги на сегодняшний день эксплуатируются 115 тепловозов 2ТЭ10, 39 тепловозов 2М62 и 52 электровоза ВЛ80. В долевом соотношении 75 % парка магистральных тепловозов составляют 2ТЭ10 и 25 % – 2М62. При усреднении полученных математических зависимостей различных серий тепловозов для всего парка тепловозов Белорусской железной дороги получается уравнение

$$y = 0,140375v_T - 0,2449, \quad (7)$$

где y – удельный расход топлива тепловозом, кг/мин; v_T – техническая скорость движения поезда на участке.

Полученные методом тяговых расчетов средние значения расхода энергетических ресурсов на 1 разгон-замедление каждой серии локомотивов представлены в таблице 1.

Получено 12.11.2017

O. A. Tereshchenko, Yu. S. Sidorovich. Methodology for estimation of traffic movement schedule energy efficiency.

The article provides an analysis of the state of the problem of energy efficiency assessment of the train schedule and a review of the corresponding functional capabilities of the automated systems for the development of the TMS. It is established that they do not have a wide toolkit, which is necessary for a specialist to solve these problems in a comprehensive manner. The article presents a method of eliminating this shortcoming by applying the developed methodology for assessing the energy efficiency of the TMS. It is based on the systematization of parameters that affect fuel and electricity costs in the organization of train traffic. The normalization of the consumption of energy resources by the method of traction calculations for various conditions of passing trains along sections of the Belorussian railway was made. The methodology is proposed to be used as a basis for algorithms that extend the capabilities of existing systems of TMS development.

Таблица 1 – Среднее значение расхода энергетических ресурсов на 1 разгон-замедление

Тип локомотива	Средний расход энергетических ресурсов на 1 разгон-замедление, кг (кВт·ч)
ВЛ80	144,82
2ТЭ10	27,49
2М62	25,07

Итоговые значения (выражения) для расчетных параметров методики приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения итоговых расчетных величин

Наименование величины	Размерность	Значение величины
$e_{\text{кВт}\cdot\text{ч}}$	руб.	0,2001
$e_{\text{кг}}$	руб.	1,0943
$a_{\text{ст}}^T$	кг/мин	0,78
a_p^T	кг	27,49
a_x^T	кг/мин	$0,140375v_T - 0,2449$
$a_{\text{ст}}^3$	кВт·ч/мин	5,50
a_p^3	кВт·ч	144,82
a_x^3	кВт·ч/мин	$0,3095v_T + 23,529$

Представленные методические подходы, полученные аналитические зависимости и величины предлагается положить в основу автоматизированной системы оценки энергоэффективности графика движения поездов на Белорусской железной дороге.

Список литературы

- 1 Кузнецов, В. Г. Комплексный подход к информационным технологиям оперативного управления поездной работой на Белорусской железной дороге / В. Г. Кузнецов, А. А. Ерофеев, М. В. Федорцов // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте (ИСУЖТ – 2013) : Вторая науч.-техн. конф., 21–22 окт. 2013, г. Москва. – М. : ОАО «НИИАС», 2013. – С. 80–82.
- 2 Миронов, А. Ю. Перевозочному процессу – инновационные технологии / А. Ю. Миронов // Железнодорожный транспорт. – 2008. – № 5. – С. 26–30.
- 3 Шапкин, П. Н. Твердый подекадный график движения поездов как одно из решений проблемы адаптации графика к колебаниям вагонопотоков / П. Н. Шапкин, Е. М. Кожанов // Вестник ВНИИЖТ. – 2007. – № 3. – С. 30–33.
- 4 Шаронов, Е. А. Организация грузового движения по расписанию / Е. А. Шаронов // Железнодорожный транспорт. – 2010. – № 10. – С. 74–77.
- 5 Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте / П. С. Грунтов [и др.]. – М. : Транспорт, 1994. – 543 с.

ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ В ЗАДАЧАХ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ МЕСТНОЙ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЧАСТКОВ И УЗЛОВ

Обоснована актуальность решаемой научной проблемы. Приведен способ формализации технологических процессов местной работы железнодорожных участков и узлов, основанный на системном представлении и алгоритмическом описании перевозочного процесса, позволяющий моделировать и устанавливать параметры технологических цепей продвижения местного вагонопотока произвольной структуры. Предложена методика оценки технологических рисков в задачах оперативного планирования местной работы железнодорожных участков и узлов, основанная на прогнозировании параметров технологических цепей, позволяющий снижать издержки, связанные с нарушением заданных параметров доставки грузов, использованием тягового подвижного состава, вагонного парка, трудовых ресурсов.

Эффективность транспортной деятельности зависит от адаптации технологии транспорта к возникающим потребностям транспортного рынка, условиям организации перевозок, используемым и внедряемым инновациям.

Планирование перевозочного процесса является сложной и наукоемкой составляющей транспортной деятельности. Качественное решение задач планирования основывается на моделях, позволяющих своевременно и достоверно прогнозировать поведение транспортных объектов, уменьшая энтропию в системе управления. За счет этого достигается снижение технологических рисков, обеспечивается рациональное использование производственных ресурсов, улучшаются количественные и качественные показатели.

Информационные технологии, применяемые на железнодорожном транспорте, создали виртуальную среду, динамично и адекватно отображающую перевозочный процесс. Ее наличие позволяет разрабатывать и реализовывать высокоточные алгоритмы прогнозирования перевозочного процесса, включая модели реального времени [1, 7].

Местная работа рассматривается преимущественно на линейном уровне управления – на железнодорожных станциях, участках и в узлах, которые представляют собой условно самостоятельные объекты, позволяющие в их совокупности рассматривать произвольный железнодорожный полигон.

Местная работа железной дороги является важной составляющей транспортной деятельности, обеспечивающей начально-конечную фазу перевозки грузов. Для нее характерны операции, параметры которых зависят от достаточно большого числа участников логистической цепи. Качество местной работы оказывает влияние на процессы накопления и формирования поездов, которые в свою очередь определяют основные параметры эксплуатационной работы станций и узлов, участков, отделений дороги, железной дороги в целом [3, 4, 6].

Решаемые в процессе организации местной работы задачи характеризуются многофакторностью и взаимной разнонаправленностью критериев, что обуславливает трудность их формализации. С учетом этого оперативное планирование местной работы в характерной для этой деятельности сложной производственной обстановке требует совершенствования научных подходов и методической базы, разработки и внедрения на их основе организационных, технологических и информационных решений.

Проведенные научным сообществом исследования позволили формализовать основные технологические процессы местной работы и условия взаимодействия. В то же время в рассматриваемой области остались нерешенными ряд задач. Одной из важнейших на сегодняшний день является проблема оптимизации ресурсов множества участников перевозочного процесса.

На стадии оперативного управления местной работой ресурсы оптимизируются и распределяются на этапе оперативного планирования. Качество системы оперативного планирования определяется уровнем адекватности параметров плановой модели фактическим результатам эксплуатационной работы при условии, что плановая модель соответствует заданным критериям оптимальности. Адекватность параметров плановой модели определяется качеством исходной информации и технологии (алгоритмов) планирования.

Качество исходной информации (ее содержательность, доступность, достаточность, репрезентативность, актуальность, своевременность, достоверность, точность, устойчивость) определяется методическим обеспечением и надежностью функционирования системы планирования. Качество технологии оперативного планирования во многом определяется способностью ее математического обеспечения использовать содержательный потенциал исходной информации [5].

С учетом структурной сложности объекта исследования, влияния на его функционирование множества факторов, в том числе случайных, на основе исходной информации не может быть однозначно предопределено развитие перевозочного процесса. Возможна лишь некоторая его сценарная оценка с той или иной вероятностью наступления [6].

Каждый сценарий перевозочного процесса включает в себе возможность свершения множества событий в управляемой системе, среди которых может быть ряд негативных: превышение нормативов в системе доставки груза, отсутствие необходимых людских и технических ресурсов для обеспечения ритмичной работы, заданных технологических параметров и др.

Перевозочный процесс не может осуществляться одновременно по нескольким сценариям, поэтому один из них, субъективно наиболее вероятный, на стадии осуществления прогноза принимается при дальнейшем планировании в качестве основного (базового). Для него разрабатываются регулировочные меры и

порядок ресурсообеспечения. При этом негативные события в управляемой системе, возможные в рамках множества альтернативных сценариев развития перевозочного процесса, могут быть учтены как риски применяемой технологии. Для оценки указанных рисков предлагается динамическая модель [2, 6], в основе которой лежит формализованное представление перевозочного процесса. В модели допустимое множество выполняемых с вагоном операций описывается выражением

$$O_B = \bigcup_{i=1}^{n_{\text{пер}}} O_{B_i} = \left\{ \bigcup_{j=1}^{n_{\text{пер}}^T} o_{B_j}^T, \bigcup_{k=1}^{n_{\text{пер}}^M} o_{B_k}^M \right\}, \quad (1)$$

где O_{B_i} – операция перевозочного процесса; $n_{\text{пер}}$ – общее количество операций перевозочного процесса, выполняемых с вагоном от момента появления вагона в зоне оперативной информации до завершения с ним операций на расчетном железнодорожном участке или в узле; $o_{B_j}^T$ – операция перевозочного процесса, выполняемая с вагоном на участке приближения (транзитное следование вагона на расчетный железнодорожный участок или в узел); $n_{\text{пер}}^T$ – общее количество операций перевозочного процесса, выполняемых с вагоном на участке приближения; $o_{B_k}^M$ – операция перевозочного процесса, выполняемая с вагоном на расчетном железнодорожном участке или в узле; $n_{\text{пер}}^M$ – общее количество операций перевозочного процесса, выполняемых с вагоном на расчетном железнодорожном участке или в узле.

С каждым конкретным вагоном в зависимости от его транспортных параметров, установленной технологии перевозок, характеристики железнодорожной инфраструктуры и общих параметров состояния перевозочного процесса выполняется определенное подмножество операций O_{B_i} из множества O_B :

$$O_{B_i} = \left\{ o_{B_j}^T \in O_{B_i} \mid P_B^T(o_{B_j}^T) \wedge o_{B_k}^M \in O_{B_i} \mid P_B^M(o_{B_k}^M) \right\}, \quad (2)$$

где P_B^T , P_B^M – установленные действующим технологическим процессом функции выбора последовательности выполняемых операций с вагоном, соответственно, на участке приближения и на расчетном железнодорожном участке или в узле.

Результатом моделирования продвижения вагонопотока является оперативный прогноз O_B^n , представленный в виде множества

$$O_B^n = \bigcup_{i=1}^{n_{\text{пер}}} \bigcup_{j=1}^{n_{\text{вар}}} O_{B_{ij}}, \quad (3)$$

где $n_{\text{вар}}$ – количество вариантов технологических цепей (сценариев), возникших вследствие наличия неопределенности информации о состоянии перевозочного процесса в исходных данных модели для i -го вагона; $O_{B_{ij}}$ – j -я технологическая цепь для i -го вагона.

Численный анализ характеристик неопределенности исходной информации и результирующих параметров

возникших технологических цепей является сутью процесса установления технологических рисков [5, 6].

Вероятность реализации технологической цепи для i -го вагона

$$p_i(r_i) = \prod_{j=1}^{n_i} p_j^k, \quad (4)$$

где n_i – число осей расчетного графа, представляющего варианты развития перевозочного процесса; p_j^k – вероятность реализации j -й стадии технологического процесса (группы операций) по k -му сценарию.

Каждому вагону согласно его технологическим признакам ставится в соответствие набор ограничений $r_i \Leftrightarrow \{b_{oj}\}$ из общего множества B_o . Эти ограничения являются факторами технологического риска. Их различные виды могут оперативно устанавливаться в зависимости от сложившейся производственной ситуации. Общими для всех случаев следует считать ограничения:

b_{o1} – допустимый срок доставки груза, учитываемый по времени подачи вагона к грузовому фронту или на выставочные пути;

b_{o2} – допустимое время подачи порожнего вагона под погрузку, учитываемое по времени подачи вагона к грузовому фронту или на выставочные пути;

b_{o3} – допустимое время нахождения вагона в определенной части технологической цепи или в целом на расчетном полигоне, определяемое установленными ограничениями на простой местного вагона или ограничениями по времени использования железной дороги вагонного парка, принадлежащего другим операторам.

Риск нарушения технологического ограничения для i -го вагона определяется совокупной вероятностью реализации технологических цепей, по которым это нарушение прогнозируется:

$$P_i^b = \sum_{l=1}^{n(b_{ij})} p_l(r_i), \quad (5)$$

где $n(b_{ij})$ – количество вариантов технологических цепей для i -го вагона, по которым нарушается ограничение b_{oj} .

Численные значения вероятностей, расположенных на первой оси графа сценариев развития перевозочного процесса $\{P_{oc11}, P_{oc12}, \dots, P_{oc1m_1}\}$, устанавливаются на основе обнаруженных отклонений прогнозной модели прибытия вагонов на расчетный полигон. Значения вероятностей, расположенных на каждой последующей j -й оси графа, зависят от распределения вероятностей по вершинам предыдущей $(j-1)$ -й оси графа. При этом установление линейных аналитических зависимостей для последовательного распределения вероятностей по вершинам графа представляется возможным только при низкой эксплуатационной нагрузке, при которой не возникают (или возникают незначительно) в подсистемах объекта исследования простои в очередях на обслуживание.

Приведенные условия не являются типичными для железнодорожного транспорта, поэтому для решения поставленной задачи в общем виде должны рассматри-

ваться условия совместного продвижения вагонов на расчетном полигоне. Общий вагонопоток обуславливает динамическую загрузку подсистем объекта исследования, то есть непосредственно формирует переменные рабочие параметры системы массового обслуживания.

Важным этапом оценки технологических рисков в

задачах оперативного планирования является установление источников энтропии исходной информации [5, 6], которая связана с неопределенностью состояния перевозочного процесса за счет влияния случайных факторов (рисунок 1).

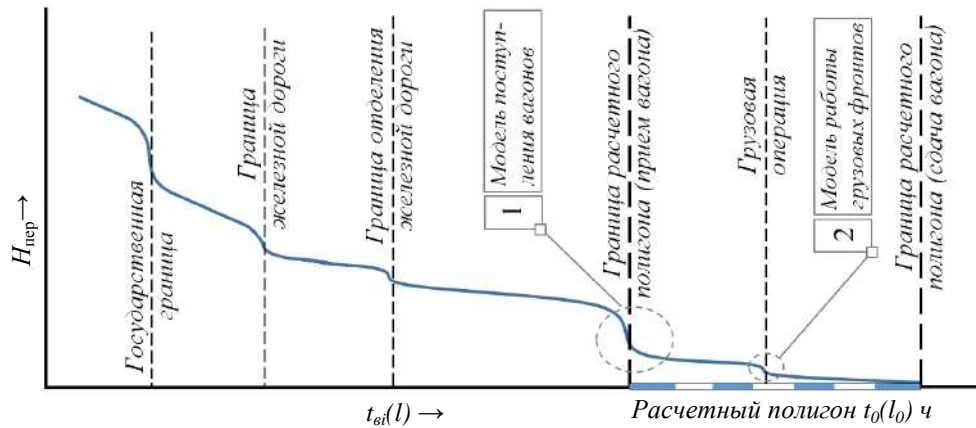


Рисунок 1 – Изменение энтропии перевозочного процесса при решении задач оперативного планирования

Для расчетного железнодорожного полигона источники энтропии исходной для планирования информации укрупненно можно представить в виде совокупности всех внешних по отношению к расчетному полигону факторов и основного внутреннего фактора – сложного управленческого взаимодействия железной дороги и клиентов в процессе выполнения погрузки и выгрузки, что затрудняет достоверное прогнозирование времени освобождения вагонов после завершения грузовых операций.

Перевозочный процесс на железнодорожном транспорте подчиняется законам сложных систем [1, 3]. Даже в условиях предоставления достоверных исходных данных на практике оказывается невозможным регулярно точное прогнозирование состояний перевозочного процесса из-за результирующего влияния множества малозначимых и случайных факторов, не нашедших по объективным причинам отражения в алгоритмах модели. При оперативном планировании для одновременного учета неопределенности исходной информации и качества работы прогнозной модели предлагается использовать статистическую оценку, основанную на функциях плотности распределения вероятности остатков времени (ошибок прогнозирования), которые определяются сравнением результатов оперативного прогноза моментов времени прибытия вагонов на техническую станцию $f_{\text{оши}}^n(\Delta t_{ri}^n)$ и моментов времени завершения выполнения с вагонами грузовых операций $f_{\text{оши}}^f(\Delta t_{ri}^f)$ с фактически исполненными значениями.

Функция плотности распределения остатков времени $f_{\text{оши}}^n(\Delta t_{ri}^n)$ в зависимости от наличия резерва пропускной способности на примыкающем железнодорожном участке (насыщенности графика движения поездов) может быть аппроксимирована непрерывной функцией – при низком и среднем уровне использования пропускной способности, кусочно-заданной – при высоком уровне использования пропускной способности с большой долей пассажирских и других приоритетных поездов на графике, дискретной точечной – при полном использовании пропускной способности с большой долей пассажирских и других прио-

ритетных поездов на графике. Данный факт обусловлен степенью возможности регулировочной трансформации поездным диспетчером нормативного графика движения в зависимости от уровня его насыщенности. Аналогично, вид функции $f_{\text{оши}}^f(\Delta t_{ri}^f)$ обусловлен уровнем загрузки и степенью соблюдения выполнения установленного расписания в подсистеме выполнения грузовых операций.

На рисунке 2 представлена гистограмма распределения статистических частот выборки отклонений прогнозной модели прибытия поездов на станцию Минск-Сортировочный (согласно сведениям УСОГДП) от факта.

В процессе исследования установлено распределение отклонений прогнозной модели прибытия поездов на станцию Минск-Сортировочный от факта по двухчасовым периодам вплоть до глубины 24 ч. Выбор интервалов моделирования обусловлен тем, что при их меньшем размере на практике сложно получить достаточный объем статистической выборки, а при больших значениях соседние интервалы попарно не удовлетворяют большинству общепринятых критериев проверки однородности выборок (в частности, критерию Колмогорова). Также установлены признаки гетероскедастичности общей выборки (в периоде 0,00–24,00 ч), которыми являются линейный тренд увеличения во времени математического ожидания и дисперсии величины $f_{\text{оши}}^n(\Delta t_{ri}^n)$.

Представленный на рисунке 2 анализ за счет наличия значимого числа статистических выбросов характеризует результаты моделирования прибытия вагонов УСОГДП как неоднородные. В основе присутствующей неоднородности главным образом лежат случайные факторы, связанные с процессами в системе управления, отказами технических устройств и появлением в модели поездообразования вагонов, не учитываемых на стадии формирования исходных данных. Следует отметить, что при совершенствовании моделей прогнозирования полная ликвидация указанных факторов в силу их природы не представляется возможной. А математическое описание законов распределения вероятностей от-

клонений прогнозных моделей от факта в таких случаях адекватно кусочно-заданным функциям.

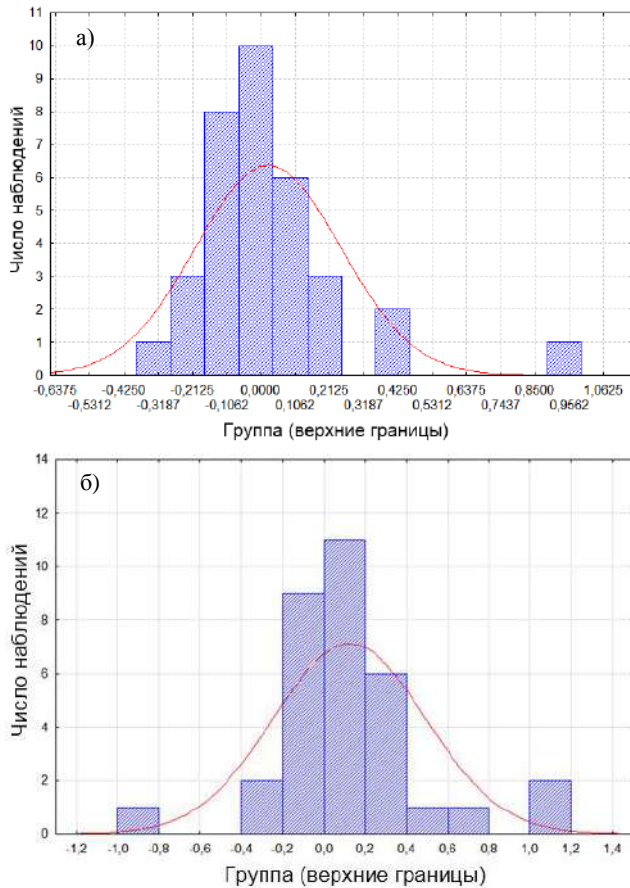


Рисунок 2 – Гистограмма распределения статистических частот выборки отклонений прогнозной модели прибытия поездов на станцию Минск-Сортировочный от факта при глубине прогноза:

a – 0,00–1,99 ч; b – 2,00–3,99 ч

При планировании местной работы железнодорожных участков из узлов, кроме рисков нарушения технологических ограничений для вагонов, предлагается учитывать риски, связанные с превышением технических ограничений по длине и массе поездов и маневровых составов. Такие риски характеризуются вероятностью

$$P_r = \sum_{i=1}^{n_k} P_i^{pq}, \quad (6)$$

где n_k – количество вариантов комбинаторных сочетаний (произведений вариантов из вероятностей прямых и обратных событий) из общего числа, для которых число накопившихся вагонов или их общая масса превышают

допустимую величину; P_i^{pq} – вероятность реализации i -го сочетания из вероятностей прямых и обратных событий, для которого число накопившихся вагонов или их общая масса превышают допустимую величину.

При больших значениях n_k (30 и более) для оценки P_r с целью экономии вычислительных ресурсов возможно использовать аппроксимацию закона распределения рисков нормальным распределением вероятностей [6].

Предлагаемая методика оценки технологических рисков отвечает современным требованиям менеджмента и может быть внедрена в качестве методической основы в систему оперативного планирования местной работы железнодорожных участков и узлов. Разработанная методика имеет высокий потенциал адаптации и может быть использована при решении широкого спектра задач в области планирования транспортных процессов.

Список литературы

- 1 Долгополов, П. В. Удосконалення управління потоками у транспортному вузлі за допомогою апарату нечітких нейронних мереж / П. В. Долгополов, В. В. Петрушов // Східноєвропейський журнал передових технологій. – Харків, 2009. Вип. 1. – С. 40–42.
- 2 Казаков, Н. Н. Имитационное моделирование работы мультимодальной грузовой линии / Н. Н. Казаков, О. А. Терещенко // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2008. – № 2 (17). – С. 38–43.
- 3 Кузнецов, В. Г. Комплексный подход к информационным технологиям оперативного управления поездной работой на Белорусской железной дороге / В. Г. Кузнецов, А. А. Ерофеев, М. В. Федорцов // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте (ИСУЖТ – 2013) : Вторая науч.-техн. конф., 21–22 окт. 2013, г. Москва. – М. : ОАО «НИИАС», 2013. – С. 80–82.
- 4 Кузнецов, В. Г. Модель разработки заданий в суточном плане эксплуатационной работы Белорусской железной дороги / В. Г. Кузнецов, И. А. Войтехович, Т. В. Пильгун // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2010. – № 2 (21). – С. 51–56.
- 5 Терещенко, О. А. Моделирование процессов накопления вагонов для решения задач оперативного планирования в условиях неопределенности исходной информации / О. А. Терещенко // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2017. – № 3 (69). – С. 45–55.
- 6 Терещенко, О. А. Оперативное планирование местной работы железнодорожных участков и узлов с использованием динамической модели перевозочного процесса / О. А. Терещенко // Транспортні системи та технології перевезень : збірник наукових праць ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна. – 2016. – № 12. – С. 80–89.
- 7 Robinson, C. J. Defining the concept of Supply Chain Quality Management and its relevant to academic and industrial practice / C. J. Robinson, M. K. Malhotra // International Journal of Production Economics. – 2005. – Vol. 96. – P. 315–337.

Получено 10.10.2017

O. A. Tereshchenko. Assessment of technological risks in the tasks of operational planning for local work of railway sections and nodes.

The urgency of the scientific problem being solved is substantiated. The method of formalized representation of technological processes of local operation for railway sections and nodes is presented. It is based on the system representation and algorithmic description of the transportation process, that allows to model and establish the parameters of technological chains of promotion of a local carload of an arbitrary structure. The method for assessing technological risks in the tasks of operational planning for local operations of railway sections and units based on the forecasting of parameters of technological chains is proposed. It allows reducing the costs associated with the violation of the specified parameters of cargo delivery, using traction rolling stock, carriage fleet, labor resources.

УДК 625.8-331.45

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

АНАЛИЗ МИГРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ СЕРЕДИНЫ XIX – НАЧАЛА XX ВЕКОВ В КОНТЕКСТЕ РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

В 1889 г. русский социолог Л. И. Мечников в работе «Цивилизации и великие исторические реки» доказал, что одним из важных факторов, который повлиял на развитие миграционных процессов, было использование водного транспорта. Ученым была выдвинута концепция прогрессивного развития цивилизации, в которой он выделил три периода использования водных коммуникаций: речной, средиземноморский и океанический. Во время этих периодов наблюдалось увеличение миграции населения, оказавшей значительное влияние на историческое развитие территорий.

Аналогичный процесс может быть рассмотрен на примере развития железнодорожного транспорта, благодаря которому осуществлялось массовое переселение из сельской местности в города и была открыта дорога к быстрому наращиванию «поселенческой» среды, искусственно создаваемой человеком в процессе его производственной жизни. Это позволило сформировать новую историческую фазу, характеризующуюся как урбанизация, изменившей территориальное пространство городов, где начался процесс формирования агломераций, состоящих из города-центра и его спутников.

Для оценки влияния урбанистических процессов на формирование и развитие городов-спутников необходим исторический анализ миграции населения в конце XIX в., что позволит выявить определенные тенденции и закономерности этого процесса и определить уровень участия в нем железнодорожного транспорта.

Конец XIX века послужил отправной вехой для определения понятия «миграция населения» в современном его понимании отечественными исследователями, и его трактовка тесно связана с общими социально-экономическими и политическими процессами, происходившими на территории современной Беларуси в это время. Активное проявление миграционных процессов рассматривается именно в этот период, который характеризуется интенсивным развитием первых капиталистических предприятий на территории Беларуси, входившей в состав России, где требовалось большое количество рабочей силы, что способствовало переселению крестьян из малоземельных, главным образом из центральных районов, в необжитые, но плодородные земли ее юга и Сибири. В статье С. И. Брука и В. М. Кабузана [4] обобщенная структура миграционного движения населения России представлена в следующем виде: «В 1897–1916 гг. продолжалось заселение Новороссии, Кавказа, Поволжья, Сибири, Казахстана и Средней Азии в основном переселенцами из земледельческого центра, Левобережной Украины, Поволжья, Восточной Белоруссии и Киевской губернии Правобережной Украины» [9, 8].

Нельзя не упомянуть и о миграционных потоках, вызванных Первой мировой войной, что повлекло за собой массовые передвижения населения (движение войск, бегство мирного населения из зоны военных действий, усиление потока беженцев в нейтральные страны и т. п.), но в большинстве случаев эти передвижения были временными. Гораздо большее влияние в этом отношении оказало заключение мирных договоров и установление новых государственных границ, что сопровождалось добровольным, а иногда и принудительным перемещением населения, особенно Беларуси [10].

Характеристика миграционных процессов, происшедших на территории Беларуси в XIX в., приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Миграционные процессы на территории Беларуси в XIX в.

Временной период	Вид миграции	Краткая характеристика	Миграционная схема	Расстояние, км
Первая половина XIX в.	Сезонная	Принудительная (вынужденная)	Село – местечко	12–30 (средний радиус – 15)
	Возвратная сезонная	Отходничество	Село – местечко – село	
60 – 90-е годы	Добровольная	Маятниковая (челночная)	Село – город – село	25–50

Как показывает анализ миграционных схем, представленных в таблице 1, в большинстве случаев миграция осуществляется на короткие расстояния. При этом рост городов в рассматриваемый период обеспечивался именно за счет миграции, но не за счет естественного прироста.

Известный российский ученый в области миграции Б. С. Хорев различает определение «Миграция» в широком и узком смысле. Так, «миграция населения в узком смысле слова выступает как важная составная часть более широкого понятия миграционного движения населения», и он предлагает следующее определение: «Перемещение людей из одних мест в другие называется миграцией населения. Миграция, в собственном смысле слова, обычно связана с переменой постоянного места жительства, т. е. с переездом из прежнего места проживания в новое место проживания. Различие между временными и постоянными перемещениями производится либо на основе продолжительности отсутствия на прежнем месте проживания, либо на основе продолжительности пребывания в новом месте» [9].

Миграция как территориальная мобильность населения, которая самым тесным образом связана со всеми другими видами мобильности: социальной, профессиональной, образовательной, этнической, характеризуется В. И. Переведенцевым, который не проводит разграничения понятий «перемещение населения» и «мобильность населения». Однако главным принципом определения миграции населения он указывает географический – территориальное изменение места жительства населением [5].

«Миграцию как одну из форм движения населения, при которой перемена места жительства на более или

менее значительное расстояние и время сопровождается общественно значимыми экономическими, социальными, демографическим и другими последствиями (позитивными, негативными, явными и скрытыми, текущими и долгосрочными и т. д.)» рассматривает В. М. Моисеенко [6].

Таким образом, представленные определения отражают динамику научного познания о миграции, однако не указывают на форму перемещения и движения населения. Как видно из представленного анализа, процесс миграции населения неразрывно связан с такими понятиями, как «миграционное движение», синонимами которого являются территориальное, пространственное движение, а также территориальная, пространственная мобильность и пространственная подвижность, что подразумевает транспортное сообщение, получившее свое развитие в конце XIX в., особенно на железнодорожном транспорте.

В 60–70-е годы прошлого века Заславской Т. И., Рыбаковским Л. Л. и др. авторами установлено, что миграционные процессы проходят три стадии (таблица 2).

Таблица 2 – Этапы миграционного процесса

Этапы	Характеристика	Процесс расселения
Подготовительный	Формирование территориальной подвижности и принятие решения о миграции	Движение населения из обжитых частей страны в слабозаселенные восточные и северные районы
Основной	Процесс переселения населения	Непрерывный отток сельских жителей в города
Завершающий	Процесс адаптации мигрантов в новом населенном пункте или стране въезда	Рост крупных городов

Миграционное движение из белорусских губерний в дореволюционный период характеризуется внутренним и внешним потоками (таблица 3) [8].

Таблица 3 – Миграционные потоки на территории Республики Беларусь в XIX веке

Тип миграции	Направление (вектор) потока миграции	Форма подвижности населения	Количество переселенцев, тыс. чел.
Внутренняя	Центральная Россия	Территориальная, социальная	114,3
	Сибирь		Около 500
	Европейский юг России и Украины (Донбасс)		232,5
	Северо-западные области России		Около 40
Внешняя	Южная и Северная Америка (США и Канада)		480

Внутренняя миграция состоит из четырех потоков и осуществляется по следующим схемам: «город – город», «село – город», «город – село», «село – село». Наибольшие миграционные потоки связаны с переездами между городами и из села в город, на которые приходится примерно 70 % всех внутренних потоков мигрантов. При этом внутренняя миграция XIX–XX вв. характеризуется как добровольно-стихийное переселение согласно Положению 1889 г.

«О добровольном переселении сельских обывателей и мещан на казенные земли и о порядке причисления лиц означенных сословий, переселившихся в прежнее время».

По данным железнодорожной статистики за 13 лет, с 1896 по 1909 г., в Сибирь выехало из Витебской губернии 153,6, Гродненской – 27,5, Минской – 95,7, Могилевской – 200,3 тыс. человек. Общее количество переселенцев из Могилевской, Витебской и Минской губерний, зарегистрированных в Челябинске и Сызрани, составило за 19 лет (1896–1914 гг.) около 500 тыс. человек. В обратном направлении возвратилось не более 1/5 всех переселенцев.

Миграционный поток Гомельской области по состоянию 1926 г. приведен в таблице 4.

Таблица 4 – География миграционного потока Гомельской области в 1926 г.

Миграционный поток, тыс. чел.					Всего, чел.
Северный Кавказ	Поволжье	Урал	Сибирь	Дальний Восток	
5	4	2	7	2	20

Общая численность эмигрантов из Беларуси в другие районы Российской империи за полвека (1861 – 1913 гг.) составила, по некоторым источникам, свыше 1 млн человек (рисунок 1).

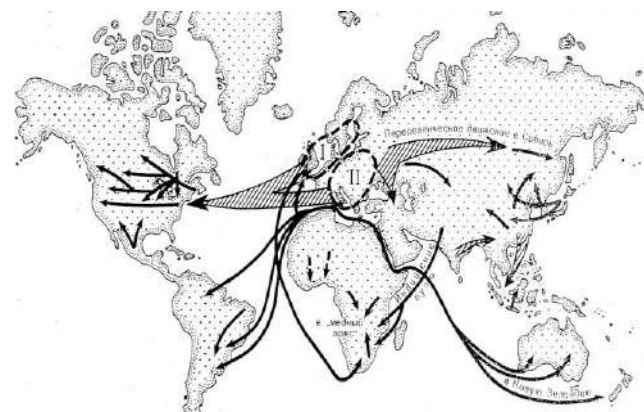


Рисунок 1 – Схема миграционных потоков из центральных районов России в США, Сибирь и другие регионы планеты:

— мощность миграционного потока;
1, 2, 3 – регионы миграционного потока

Как видно из рисунка 1, во второй половине XIX в. миграционные потоки возрастают, и более 76 % всех переселенцев следуют на окраины России: Сибирь, Дальний Восток, а также США, Южную Америку, Австралию. Эмиграция из России в конце XIX в. была связана с ростом малоземелья, но также присутствовал комплекс национальных и экономических проблем. Основной массив мигрантов шел в Сибирь, на Северный Кавказ и т. д. С западных территорий Российской империи идет эмиграция на запад: в конце XIX – начале XX вв. миграция в Америку превысила показатели XIX в. 3027 тыс. русских подданных. Внутренняя миграция шла на восток, с запада – в Америку, Аргентину.

В конце XIX в. из 5886,2 тыс. белорусов, которые проживали в Российской империи, 440 тысяч (7,5 %) находились за границами своей этнической территории (таблица 5).

Таблица 5 – Миграционные потоки этнических белорусов в конце XIX в.

Территориальное расселение	Миграционные потоки, тыс. чел.
Малороссийский край	174,0
Подмосковная земля	103,7
Южно-Русский край	58,5
Польский край	29,4
Кавказский край	15,3
Ливонский край	13,4
Среднерусская земля	10,6
Западно-Сибирский край	9,5
Петербургский край	7,1
Закавказский край	4,4
Нижневолжская земля	3,9
Пермская земля	3,1
Восточно-Сибирский край	2,9
Верхневолжская земля	2,0
Северно-Русский край	1,4
Закаспийский край	0,4
Южно-Сибирский край	0,4

Российскими исследователями установлено, что белорусов (по родному языку) в 1897 г. в Томской губернии проживало 4586 человек, Тобольской – 4396, а в Иркутской – 209 человек. Доля белорусов в этнической структуре бывших губерний в современных границах Беларуси составила: в Виленской губернии – 80,2, Гродненской – 49,1, Витебской – 73, Минской – 76 и Могилевской – 82,4 %. В целом по Беларуси в ее современных границах процент белорусов в этнической структуре населения страны, согласно материалам Всероссийской переписи населения 1897 г., составил 78,2 % [4, 7, 8].

В таблице 6 приведены переселенческие тенденции населения белорусских губерний во второй половине XIX в. и начале XX в.

Таблица 6 – Миграционные потоки на территории белорусских губерний во второй половине XIX и начале XX вв.

Годы	Губернии					Всего, чел.
	Витебская	Гродненская	Минская	Могилевская	Виленская	
1897	3298	324	883	2525	597	7627
1898	7632	2445	5411	8975	5656	30119
1899	4486	2786	2437	4938	1927	16574
1900	7463	2863	5110	13000	3606	32042
1901	6695	943	2255	6766	2126	18785
1902	6734	652	3082	8488	2753	21709
1903	10048	904	3645	10238	3753	28588
1904	319	92	160	605	65	1241
1905	626	29	135	662	73	1525
1906	7228	527	2201	6092	939	16987
1907	22478	1223	19578	40895	6744	90918
1909	27072	7227	18528	56599	3834	113260
1910	12405	6088	7196	24621	1767	51997
1911	11921	3984	6167	18996	2260	43328
1912	4759	968	3140	9265	1213	19345
1913	3373	856	3842	7421	1069	16561
1914	3373	856	3842	7421	1069	16561

Следует отметить, что в рассматриваемый период широко были распространены сезонные миграции, именуемые как отходничество, при которых осуществляются перемещения главным образом экономически активного

населения к местам временной работы и жительства на срок в несколько месяцев с сохранением возможности возвращения в места постоянного жительства. С одной стороны, сезонные миграции обеспечивают их участникам получение более выгодного дохода, чем они имеют в местах выхода, а с другой – удовлетворяют потребности производства, испытывающего дефицит в рабочей силе. При этом один из потоков данного избыточного сельского населения следовал на сезонные работы в города, где имела промышленное производство. Второй поток шел на юг, где крестьяне трудились в сельском хозяйстве.

Анализ миграционных потоков показал, что в первой половине XIX в. наблюдается рост городов и развитие торговли. При этом население городов, размещаемых на территории нынешней Беларуси возросло в 4 раза (с 82 тыс. до 320 тыс. чел), а удельный вес горожан в общей численности населения увеличился с 3,5 до 10 %, что было обусловлено принудительным переселением населения из деревень в местечки, где имелось сосредоточение большого количества мелких мастерских. Так, в начале 60-х годов XIX в. в Беларуси насчитывалось около 10 тыс. мастерских, в которых работало 35 тыс. человек. В конце века насчитывалось 84 тыс. мастерских с общим количеством занятых 144 тыс. человек. Количество промышленных мастерских мануфактурного типа с начала 60-х по 90-е годы XIX в. возросло со 127 до 233, что способствовало развитию маятниковой (челночной) миграции, основанной на регулярных, ежедневных или еженедельных поездках населения от мест жительства до мест работы и обратно: из сельского населенного пункта в город или из малого города – в крупный. Маятниковая миграция получила широкое распространение в пригородных зонах крупных городов, а также в зоне средних и малых городов, в сельской местности урбанизированных территорий, через которые были проложены железные дороги (Санкт-Петербург-Варшавская, Орловско-Витебская, Двинско-Витебская, Риги-Двинская и др.).

Строительство в 1851–1862 гг. железнодорожной линии Петербург – Варшава и участка Поречье – Гродно, вошедшего в ее состав, позволило не только связать центральные районы России с западными губерниями и портами Балтики, но и обеспечить удобное транспортное сообщение между населенными пунктами Гродненской губернии, среди которых Соболяны, находящиеся на расстоянии 5 км от железнодорожной станции второго класса Поречье и 30 км от Гродно, а также Новая и Старая Руды, Лихачи, Озеры, Гожи, Чернухи и другие деревни и местечки.

До начала 90-х годов XIX века поезда из Поречья расходились по трем направлениям: Вильнюс, Друскининкай и Гродно. В конце XIX в. каждый день курсировали 12–14 поездов (включая товарные), которые преодолевали расстояние до Гродно (30 км) за 40–45 минут. Станция Поречье представляла собой большой (даже по современным масштабам) железнодорожный узел, в состав которого входили ремонтное депо, склады, подгауз, поворотный круг, несколько служебных домов для персонала, депо. Станция Поречье располагала инфраструктурой (железнодорожный клуб с библиотекой), обеспечивавшей культурно-досуговую деятельность населения. Особое значение при выполнении пассажирских перевозок имел маршрут от Гродно до главного губернского курорта – местечка Друскеники (Друскининкай, Литва), что способствовало развитию данного курорта, который в начале XX века ежегодно

посещали до 20 тыс. человек, и росту спроса на пассажирские перевозки. В течение 1862 года по железнодорожной линии Петербург – Варшава было перевезено 692051 пассажир. Протяженность железных дорог, проложенных по территории современной Беларуси с 1867 по 1904 г., выросла в 12 раз.

В таблице 7 приведено количество пассажирских поездов и время их хода по железнодорожной линии Петербург – Варшава.

Таблица 7 – Характеристика маршрута следования Петербург – Варшава (через Гродно)

Временной период	Маршрут следования	Количество пассажирских поездов, пар поездов	Время в пути, ч
1881 г.	С.-Петербург – Варшава (через Гродно)	1	35–36
1898 г.		1 (скорый)	25
1907 г.		1 (скорый)	22 ч 40 мин (23 ч 25 мин)

В начале XX века на рассматриваемом маршруте появились пригородные поезда. Например, между Гродно и Сувалками по понедельникам и пятницам курсировали два почтово-товарно-пассажирских поезда, время в пути которых составляло 4 ч 36 мин. Еще одна пара таких же поездов курсировала между Гродно и Мостоми, время нахождения в пути которых составляло 1 ч 40 мин. В 1912 г. по Сувалкинскому кольцу по маршруту Гродно – Сувалки следовали поезда, время в пути которых соответственно составляло 4 ч 20 мин и 5 ч 40 мин.

В 1902 г. в ведение Риго-Орловской железной дороги перешла линия Витебск – Орша – Могилев – Жлобин как часть будущей магистрали Петербург – Юг. В этот период завершены работы по строительству вторых путей на участках Смоленск – Витебск и Витебск – Полоцк – Двинск и утверждена главная линия от Смоленска до Бреста с ветвью от местечка Сельце до Пинска. Согласно проекту ветка должна была проходить от Бреста через Кобрин, Сельце, Слоним, Минск, Могилев, Горки. С 1909 г. проводились инженерные изыскания на трассе Брянск – Могилев, Рославль – Могилев, Могилев – Минск – Мосты. Этот проект получил название Белорусской железной дороги. В годы Первой мировой войны построена линия Жлобин – Калининчи – Овруч – Коростень – Шепетовка. Начато сооружение железной дороги Минск – Раков – Ивенец – Лида.

Анализ миграционных процессов в XIX в. показал, что железнодорожный транспорт способствовал территориальной мобильности и перемещению населения между населенными пунктами, обеспечивая рост предложений рабочей силы, а также спроса на неё, развитию занятости и созданию рабочих мест в рамках четко определенных местных рынков труда. В пригородных районах городов были сформированы зоны устойчивой маятниковой миграции, формирование и развитие которых возможно только при наличии железнодорожного транспорта. Почти 20 % потребности крупных городов за счет маятниковой миграции обеспечивается работниками более низких квалификаций, а также позволяет

Получено 10.11.2017

T. A. Vlasuk. Analysis of migration processes in the territory of the Republic of Belarus from the middle of the XXI centuries in the context of railway transport development.

In 1889 the Russian sociologist L. I. Mechnikov in the work "Civilization and the great historical rivers" proved that one of the important factors which influenced the development of migration processes, was the use of different methods of water communications. Scientists put forward the concept of progressive development of civilization, in which he identified three periods the use of water communications: river, Mediterranean and oceanic. During these periods, an increase in migration to have a significant impact on the historical development of the territories.

A similar process may be considered on the example of development of railway transport, thanks to which it was carried out a mass migration from the countryside to the city and opened the road to a rapid build-up of "settler" environment, artificially created by man in the process of its production life. This allowed a new historical phase marked by urbanisation, changed the territorial space of cities where began the process of forming agglomerations consisting of city-centre and its satellites.

расширить зону непосредственного влияния крупных городов – центров материальной и духовной культуры, приобщая население, преимущественно сельских районов, к городскому образу жизни, социальной мобильности и создает возможность более широкого выбора профессии и занятий, а также способствует развитию новых форм поселений, сочетающих элементы городского и сельского расселения.

Помимо этого показано, что миграционные процессы в XIX в. способствовали территориальной мобильности и перемещению населения между населенными пунктами, обеспечивая рост предложений рабочей силы, а также спроса на неё, развитию занятости и созданию рабочих мест в рамках четко определенных местных рынков труда. Об этом свидетельствует ускоренное развитие фабрично-заводской промышленности в 80–90-е годы XIX в. Так, с 1860 г. в 15 раз увеличилось количества фабрик и заводов, которых в конце XIX в. насчитывалось более 1100. В этот период объем производства на предприятиях увеличился в 37 раз, а количество рабочих – в 9 раз. Начали работать новые фабрики: спичечные в Борисове (1881 г.) и Пинске (1882 г.), табачная в Гродно (1862 г.), бумажная в Добруше (1871 г.) и др. Как видно из перечня, наиболее крупные фабрики находились в городах. Однако 2/3 фабрик и заводов и почти половина занятых на них рабочих были расположены в сельских поселениях [1–3].

Список литературы

- 1 **Абезгауз, З. Е.** Развитие промышленности и формирование пролетариата Белоруссии во 2-й половине XIX в. / З. Е. Абезгауз. – Минск : Наука и техника, 1971.
- 2 **Антипова, Е. А.** Геодемографические проблемы и территориальная структура сельского расселения Беларуси / Е. А. Антипова. – Минск : БГУ, 2008. – 327 с.
- 3 **Болбас, М. Ф.** Промышленность Белоруссии 1860–1900 гг. / М. Ф. Болбас. – Минск : Изд-во БГУ, 1978. – 312 с.
- 4 **Брук, С. И.** Миграция населения в России в XVIII – начале XX веков (численность, структура, география) // С. И. Брук, В. М. Кабузан // История СССР. – 1984. – № 4. – С. 41–59.
- 5 **Переведенцев, В. И.** Методы изучения миграции населения / В. И. Переведенцев. – М. : Наука, 1975. – 231 с.
- 6 **Моисеенко, В. М.** Вопросы изучения миграции в России во второй половине XIX – начале XX веков // Миграция и развитие. Пятое Валентеевские чтения : сб. материалов Междунар. конф. 13–15 сент. 2007 г., Москва, МГУ. – М. : СП Мысль, 2007.
- 7 **Рыбаковский, Л. Л.** Население Дальнего Востока за 150 лет / Л. Л. Рыбаковский. – М. : Наука, 1990. – 167 с.
- 8 **Чигринов, П. Г.** Очерки истории Беларуси : учеб. пособие для вузов / П. Г. Чигринов. – Минск : Выш. шк., 2000. – 461 с.
- 9 **Хорев Б. С.** Городские поселения СССР (Проблемы роста и их изучение: очерки географии расселения) / Б. С. Хорев. – М., 1968. – 256 с.
- 10 **Шарухо, И. Н.** Местечки Беларуси: из прошлого в будущее / И. Н. Шарухо // Псковский регионологический журнал. – 2010. – С. 65–71.

УДК 656.222.4

Е. А. ФЕДОРОВ, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОЦЕССНО-ОБЪЕКТНОГО ГРАФИКА ДВИЖЕНИЯ ПЕЗДОВ НА ИНФРАСТРУКТУРЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Определены принципы, методы и способы организации деятельности участников транспортного процесса в процессно-объектном графике движения поездов, определена область применения графика движения нового типа, описан подход к определению синергетической эффективности системы доставки грузов и перемещения порожних вагонов на основе применения процессно-объектного графика движения поездов.

Реализация деятельности субъектов транспортно-го процесса в графике движения поездов (ГДП) основывается на свойствах множества исходных грузовых и порожних вагонопотоков клиентов, предъявляемых равноправным перевозчикам для перемещения по инфраструктуре железнодорожного транспорта. На параметры процесса перемещения поездов и маршруты их следования влияют технические возможности и технология взаимодействия перевозчиков и оператора инфраструктуры [2].

Для обеспечения эффективности деятельности перевозчиков, связанной, в первую очередь, с организацией движения поездов, предусмотренных планом формирования, ГДП должен обеспечивать:

- соответствие расположению на инфраструктуре пунктов технического обслуживания (ТО) и коммерческого осмотра (КО) общей композиции полигона инфраструктуры;

- рациональное размещение участков обращения локомотивов (УОЛ) и локомотивных бригад (УОБ) и увязку локомотивов и бригад, обеспечивающая максимально эффективное их использование;

- синхронизацию процессов составаобразования на технических станциях, предусмотренных планом формирования перевозчика, с ГДП.

Процедура реализации деятельности перевозчиков в процессно-объектном ГДП приведена на рисунке 1.

На основании планируемых параметров поездопотоков перевозчик выделяет для каждого поездного назначения потребное число ниток, реализуемых в ГДП:

- 1) прокладкой ниток на маршруте следования процессно-объектным методом;

- 2) обеспечиваемых потребным уровнем пропускной способности объектов инфраструктуры на маршруте следования (что соответствует существующему подходу к разработке ГДП).

Полученное подмножество поездных назначений является исходным для моделирования ниток ГДП на инфраструктуре процессно-объектным методом.

Надежность и безопасность следования вагонопотоков клиентов обеспечивается перевозчиком в пределах установленных гарантийных участков безопасного следования вагонов на полигоне инфраструктуры.

При осуществлении ТО и КО вагонов как услуги инфраструктуры, места их возможного проведения устанавливаются оператором инфраструктуры с учетом композиции полигона и ограничений по его использо-

ванию. Перевозчик определяет станции выполнения ТО и КО для каждого поездного назначения исходя из критерия минимизации числа осмотров при соблюдении гарантийных плеч следования вагонов:

$$\begin{aligned} \min Ns^{\text{TO, KO}} \mid L[s_i^{\text{TO, KO}}(n_k); s_{i+1}^{\text{TO, KO}}(n_k)] \leq \\ \leq L_{\text{тап}}^{\text{TO, KO}}(n_k), \forall n_k \in N \rightarrow \text{opt TO, KO}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $Ns^{\text{TO, KO}}$ – число осмотров составов поездов в пути следования; $L[s_i^{\text{TO, KO}}(n_k); s_{i+1}^{\text{TO, KO}}(n_k)]$ – расстояние между станциями проведения ТО, КО на маршруте следования поезда; $L_{\text{тап}}^{\text{TO, KO}}(n_k)$ – гарантийное плечо следования вагонов типа n_k .

Осуществление ТО и КО силами перевозчика связано со значительными затратами на содержание ресурсов на технических станциях для выполнения соответствующих видов работ. Критерием выбора станций осмотра при этом может служить минимизация потребного числа пунктов проведения ТО и КО:

$$\begin{aligned} \min \sum s^{\text{TO, KO}} \mid L[s_i^{\text{TO, KO}}(n_k); s_{i+1}^{\text{TO, KO}}(n_k)] \leq \\ \leq L_{\text{тап}}^{\text{TO, KO}}(n_k), \forall n_k \in N \rightarrow \text{opt (TO, KO)}. \end{aligned} \quad (2)$$

Прокладка ниток ГДП процессно-объектным методом предполагает определенность их параметров на всем маршруте следования, что дает перевозчику возможность повышения эффективности эксплуатации локомотивов и локомотивных бригад. Для каждого поезда, реализуемого в ГДП по процессно-объектному принципу, перевозчик устанавливает станции смены локомотивов и локомотивных бригад, а также минимальные временные нормативы для выполнения этих операций.

Оператор инфраструктуры для установленного множества поездных заявок равноправных перевозчиков определяет полигон моделирования ГДП и множество приоритетов обработки поездных заявок на технических станциях (в узлах) инфраструктуры.

Установление приоритетов обработки поездных заявок на технических станциях в пределах сформированного полигона моделирования ГДП завершает формирование матрицы поездопотоков для моделирования процессно-объектного ГДП в соответствии с подходом, изложенным в [4].

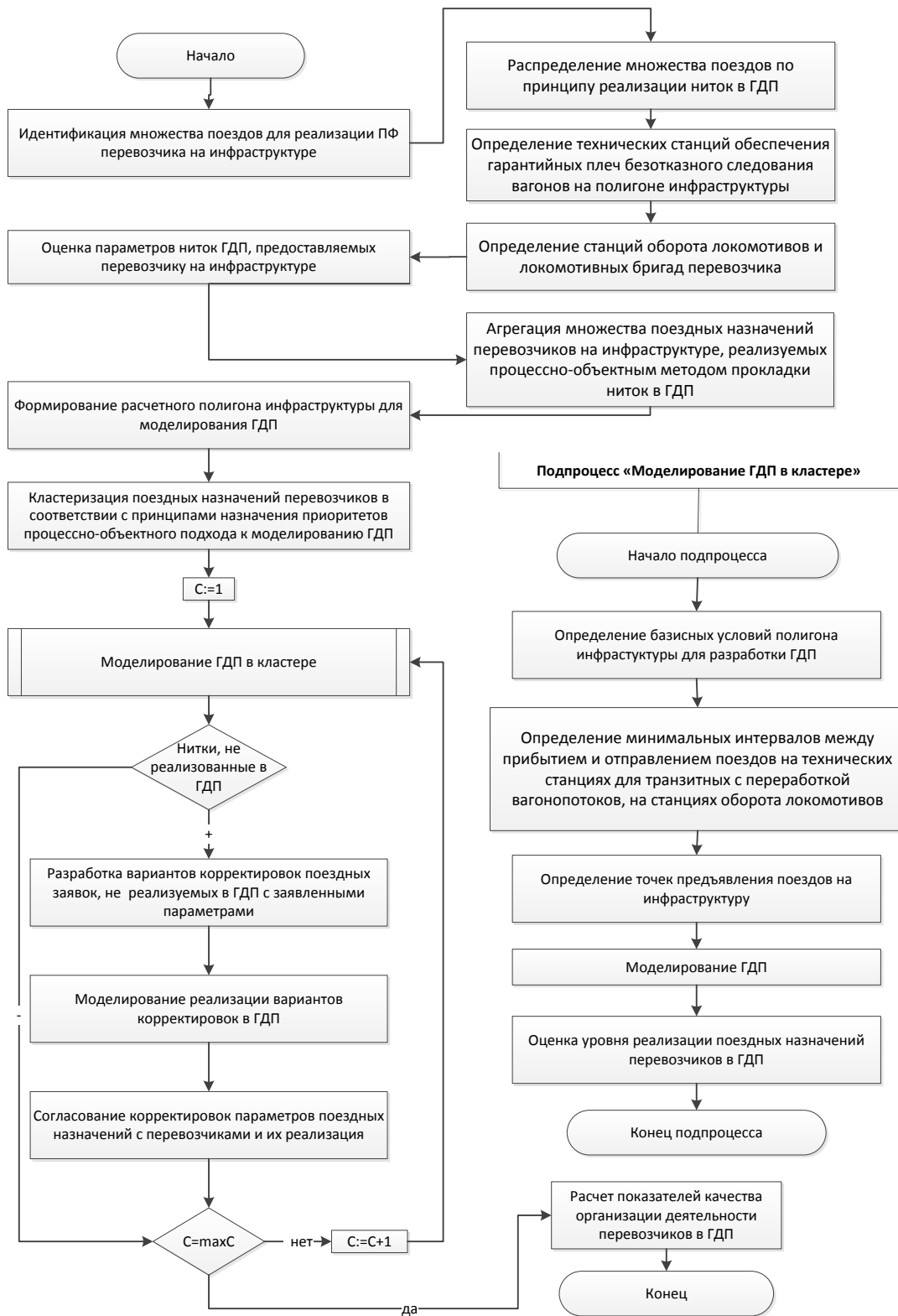


Рисунок 1 – Процесс реализации деятельности перевозчиков в ГДП

Для каждого кластера поездов, выделенного по приоритету предоставления доступа, формируется пространственно-временное поле расписаний ГДП, в котором выделяются временные зоны с различной степенью предпочтительности для прокладки ниток.

Оценка предпочтительности зон $Z(t)$ выполняется по комплексному минимаксному критерию, отражающему эффективность прокладки нитки ГДП для клиентов и оператора инфраструктуры:

$$\max Z(t) = \min \left\{ T_{(p;q)}(t) \right\} \max \left\{ \min N_{s_{c_k}}^n(t) \right\}, \quad (3)$$

где $T_{(p;q)}(t)$ – время следования поезда по маршруту при отправлении в момент времени t , определяемое без учета влияния других поездов рассматриваемого кластера; $N_{s_{c_k}}^i(t)$ – наличная пропускная способность технической станции в период обработки поезда.

В зависимости от характера образования грузопотока и условий поставки клиент устанавливает временные требования к реализации заявок на перевозку грузов в ГДП.

Для каждого типа поездопотока клиентов в процессно-объектном ГДП задаются начальные точки предъявления поездов на инфраструктуру:

1) при фиксированном времени предъявления поезда точкой предъявления поезда на инфраструктуру является ближайшая к заявленному времени (с учетом хода времени) свободная вершина отправления поезда со станции формирования.

2) при фиксированном времени прибытия поезда на станцию назначения (сдачи с инфраструктуры) время предъявления поезда определяется через предельный срок перевозки:

$$T_{(p;q)}^{\text{отпр}} = T_{(p;q)}^{\text{приб}} - D_{(p;q)}; \quad (4)$$

3) в случае, когда время отправления поездов не регламентируется клиентом, точки предъявления поездов на инфраструктуру определяются с учетом зон с минимальным количеством конфликтов с поездами более высокого приоритета.

Моделирование ГДП производится поэтапно в пределах установленных групп поездов с равноправными условиями реализации на инфраструктуре. При этом любой моделируемой нитке ГДП к данному этапу определена совокупность необходимых параметров для ее прокладки:

$$N_{(p;q)}^{\text{ГДП}} = \left(c_k; (p; \{s_k\}; q); T_{(p;q)_j}^p; \{T_{(p;q)_j}^{s_k}\}; D_{(p;q)_j}^{\text{мп}} \right), \quad (5)$$

где c_k – группа поездов, к которой отнесена нитка ГДП; $(p; \{s_k\}; q)$ – маршрут следования по инфраструктуре; $T_{(p;q)_j}^p$ – время (точка) предъявления нитки на инфраструктуру; $T_{(p;q)_j}^{s_k}$ – нормативное время обработки поезда на технической станции маршрута следования; $D_{(p;q)_j}^{\text{мп}}$ – предельный срок реализации заявки на движение поезда.

В условиях сложившейся неравномерности сбыта продукции в условиях рынка значительная часть поездных назначений клиентов может предъявляться на инфраструктуру не ежедневно, а в соответствии с календарными графиками, определенными на основании процессов образования товарной массы клиентов или ее потребления [5]. Разработка ГДП, обеспечивающего прокладку ниток в общей постановке задачи, приводит к возникновению значительного числа вариантов ГДП. При этом процессно-объектный метод моделирования предполагает поиск рационального решения прокладки ниток ГДП на основании принципов равноправного доступа к инфраструктуре. Соответственно, параметры множества ниток ГДП будут переменной величиной, определяемой вариантом ГДП.

Решение сформулированной проблемы в процессно-объектном ГДП достигается за счет консолидации поездных заявок, допускающих совместное использование ниток ГДП, очередность доступа клиентов к которым устанавливается оператором инфраструктуры на основе календарного планирования.

Организационная процедура разработки и оперативной корректировки ГДП определяет порядок и сроки взаимодействия участников рынка транспортных услуг по согласованию доступа к инфраструктуре железнодорожного транспорта в части организации движения поездов (рисунок 2).

Корректировка ГДП в течение периода его действия может носить периодический или оперативный характер. Периодическая корректировка ГДП предусматривает разработку вариантного ГДП и осуществляется в случаях:

- значительных изменений параметров поездных заявок по результатам подачи грузоотправителями месячных и декадных заявок на перевозку грузов;
- проведения на объектах инфраструктуры плановых и внеплановых работ, оказывающих влияние на условия движения, обработки поездов и пропускную способность объектов инфраструктуры.

Оператор инфраструктуры прокладывает нитки ГДП на заявленных маршрутах следования в зоне резерва пропускной способности.

Прокладка ниток может быть осуществлена следующими способами:

- выбор и увязка (при необходимости) резервных ниток ГДП на маршруте следования поездной заявки с последующим закреплением ниток за клиентом на период действия дополнительной заявки;
- агрегирование дополнительных заявок клиентов и разработка вариантного ГДП процессно-объектным методом в пределах свободного поля ГДП.

Область возможного применения процессно-объектного ГДП $D_{\text{пр.-об.}}^{\text{ГДП}}$ определяется:

- при идентификации множества поездопотоков, по требованиям к реализации и (или) обеспечению повышения экономической эффективности, подлежащих прокладке ниток поездных заявок на основании процессно-объектного метода;
- установлении полигона реализации маршрутов следования поездных заявок процессно-объектного ГДП на инфраструктуре по условиям совместимости технических средств и надежности перевозочного процесса:

$$D_{\text{пр.-об.}}^{\text{ГДП}} = \begin{cases} N = \{N_{\text{т.р.ij}}^{\text{п.-о.ГДП}}; N_{\text{эк.эф.ij}}^{\text{п.-о.ГДП}}\}, \\ \sum N_{(p;q)_j}^j (1 - \prod P_k^j) \bar{\text{ш}}_j \leq \text{Ш}_{\text{max}}^j; \\ S_{\text{пр.-об.}}^{\text{ГДП}} = \{s_i^{\text{инфр}}\} | s_i^{\text{инфр}} \in S_{\text{пер}}^{\text{ГДП}} \wedge s_i^{\text{инфр}} \in S_{\text{о.в}}^{\text{ГДП}}, \end{cases} \quad (6)$$

где $\bar{\text{ш}}_j$ – средняя величина штрафных санкций (и иных потерь, связанных с восстановлением работоспособности транспортной системы) для j -го участника перевозочного процесса при срыве нитки ГДП; Ш_{max}^j – максимально допустимый размер штрафных санкций (и иных потерь) для j -го участника перевозочного процесса, определяемый исходя из уровня ожидаемой прибыли при переходе на движение поездов по процессно-объектному ГДП; $s_i^{\text{инфр}}$ – объект инфраструктуры; $S_j^{\text{ГДП}}$ – множество объектов инфраструктуры, на которых осуществляет деятельность j -й участник транспортного процесса.

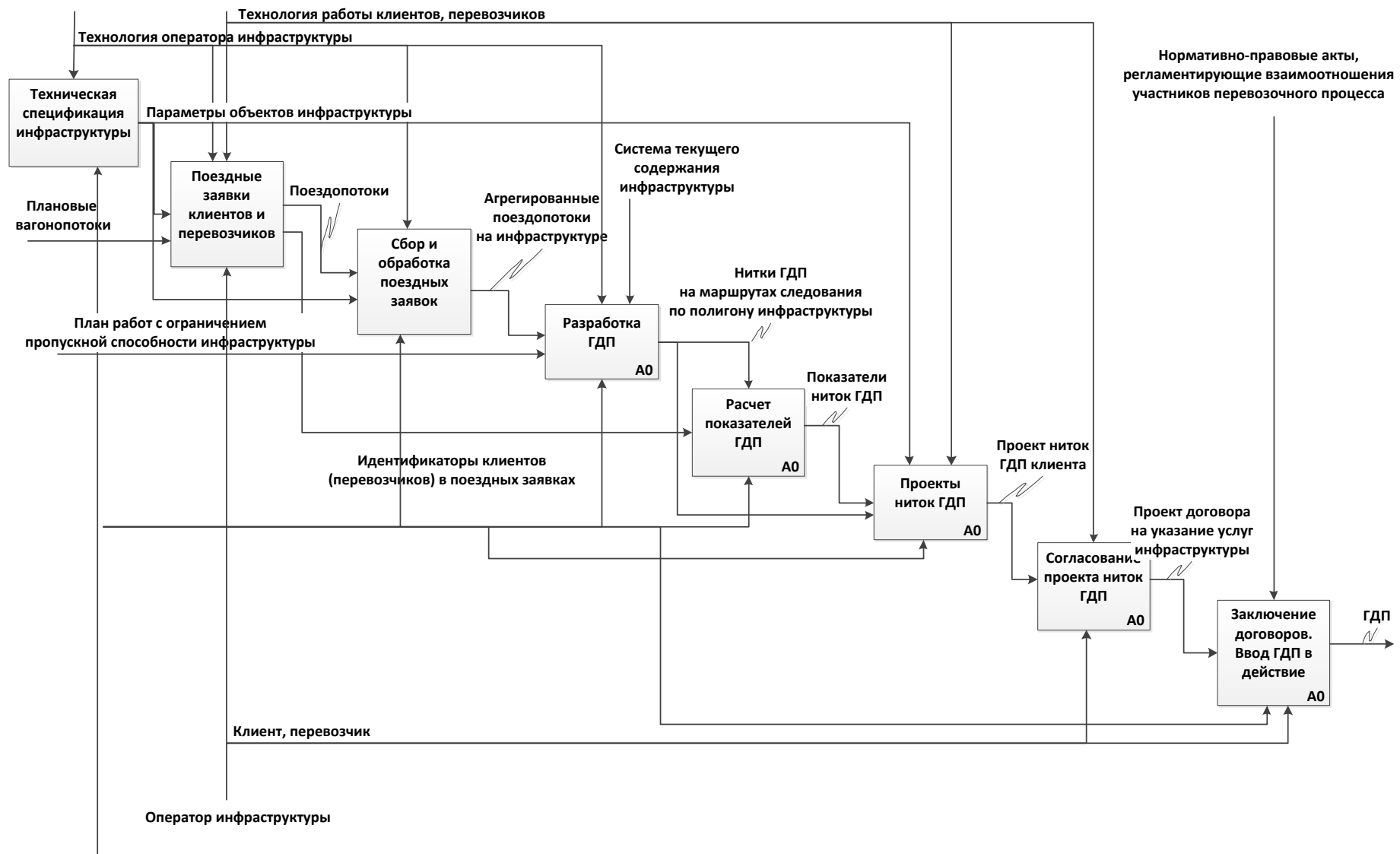


Рисунок 2 – Организационная процедура разработки ГДП

Синергетическая эффективность процессно-объектного ГДП базируется на достижении следующих эффектов транспортного процесса: организационного, технологического, экономического. Организационный эффект процессно-объектного ГДП достигается за счет повышения эффективности управленческих решений по доставке грузов и перемещению вагонов, принимаемых участниками транспортного рынка, связанной с регламентацией их взаимодействия при разработке ГДП, расширением возможностей по формированию состава требований к процессу перемещения грузов и вагонов, идентификацией движения поездов на маршрутах следования по полигону инфраструктуры.

Технологический эффект доставки грузов и перемещения вагонов на основе применения процессно-объектного ГДП для оператора инфраструктуры, перевозчиков и клиентов заключается в обеспечении синхронизации производственно-сбытовых циклов клиентов железнодорожного транспорта с перевозочным процессом в рамках единой комплексной технологии перевозочного процесса.

Экономический эффект от организации доставки грузов и перемещения вагонов на основе процессно-объектного ГДП для каждого участника перевозочного процесса определяется методом оценки инноваций по интегральному эффекту, выраженному чистым дисконтированным доходом (NPV – Net Present Value).

Синергия экономического эффекта при этом выражается суммарным интегральным эффектом участников рынка железнодорожных перевозок на инфраструктуре:

Получено 15.10.2017

E. A. Fedorov. Organization of the transport process with use process-objective traffic schedule for infrastructure of railway transport.

The principles, methods and methods of organizing the activity of the participants in the transport process in the process-object train schedule have been determined, the scope of the new type of traffic schedule has been defined, the approach to determining the synergetic efficiency of the cargo delivery system and moving empty wagons on the basis of application of the process-object traffic schedule trains.

$$NPV^{ГДП} = \sum NPV_i^{ГДП}. \quad (7)$$

Использование процессно-объектного ГДП предоставляет новые возможности участникам транспортного процесса, обусловленные снижением стохастичности движения поездов на инфраструктуре в рамках единой комплексной технологии взаимодействия при организации перевозок, обеспечивающей рациональное использование перевозочных ресурсов и объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта.

Список литературы

1 **Репин, В. В.** Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов / В. В. Репин, В. Г. Ковалев. – М. : Манн, Иванов и Фербер, 2013. – 544 с.

2 **Фёдоров, Е. А.** Информационное обеспечение процессно-объектной модели разработки графика движения поездов на инфраструктуре железной дороги / Е. А. Федоров // Информационные технологии и системы 2016 (ИТС-2016) : материалы Междунар. науч. конф. – Минск : БГУИР, 2016. – С. 38–39.

3 **Федоров, Е. А.** Оценка разработки и выполнения графика движения поездов с учетом плана формирования // Современные проблемы развития железнодорожного транспорта и управления перевозочным процессом : сб. тр. Междунар. практ. конф. / под общ. ред. В. Н. Морозова и Ю. О. Позойского. – М. : ВИНТИ РАН, 2015. – С. 112–113.

4 **Фёдоров, Е. А.** Процессное моделирование разработки графика движения поездов / Е. А. Федоров // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2015. – № 2. – С. 70–72.

5 **Фёдоров, Е. А.** Структурная композиция транспортных потоков при их интеграции в поездообразование и график движения поездов / Е. А. Федоров // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2017. – № 1. – С. 55–60.

НЕОБХОДИМЫЕ УСЛОВИЯ И ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ИНТЕРМОДАЛЬНОГО ПАССАЖИРСКОГО СООБЩЕНИЯ С УЧАСТИЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО И АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Определены цели организации интермодальных пассажирских перевозок, приведена классификация логистических схем организации интермодального сообщения с участием железнодорожного и автомобильного транспорта. Отмечены принципы разработки интермодальных транспортных систем в контексте значимости и приоритетности решаемых задач с целью комплексного удовлетворения потребностей пассажиров и организаторов смешанной перевозки. Охарактеризованы возможные виды организации интермодальных транспортных систем перевозки пассажиров железнодорожным и автомобильным транспортом применительно к условиям транспортного обеспечения населения Республики Беларусь.

Предпосылки применения интермодальных перевозок связаны с развитием различных видов транспорта, входящих в единую транспортную систему, и обусловлены неравномерной территориальной разобщенностью культурных и производственных центров.

Большинство пассажиров в своих передвижениях прибегает к услугам двух и более видов транспорта. Пересадки с одного вида транспорта на другой доставляют пассажирам множество неудобств из-за несогласованной работы различных видов транспорта, неудобного расположения транспортных сетей одних видов транспорта относительно других, затрат времени (иногда существенных) на приобретение проездных документов на различные виды транспорта, оформление багажа и т.д.

В последние годы на транспортном рынке обострилась конкуренция между различными видами транспорта, осуществляющими перевозку пассажиров. Одно и то же направление перемещения пассажиропотока в черте города может обслуживаться метрополитеном, трамваями, автобусами, троллейбусами, электропоездами, а за городом – пригородными электропоездами, автобусами, маршрутными такси и т.д. Перевозки на дальние расстояния осуществляются, как правило, железнодорожным, воздушным, водным и автомобильным транспортом.

Работа отдельного вида транспорта часто направлена на борьбу с конкурентными видами транспорта, на вытеснение их с этого рынка транспортных услуг, при этом не учитываются потребности пассажиров в комплексности транспортных услуг. Отдельные виды транспорта очень часто, действуя как обособленные предприятия, не могут самостоятельно предоставить на транспортном рынке высококачественную систему удовлетворения потребностей населения в перевозках «от двери до двери». У пассажиров возникают издержки, связанные с длительным ожиданием транспорта в пунктах пересадки, более ранним временем отправления на работу, учебу и отдых, дополнительными финансовыми затратами и психологической усталостью и т.д. Из-за транспортной усталости пассажиров, возникающей в связи с неорганизованной работой транспорта, резко снижается производительность их труда. Пассажиры вынуждены самостоятельно искать пути сокращения непроизводительного времени ожидания транспорта за счет изменения маршрута следования, смены видов транспорта, места работы, учебы или приобретения личного автотранспорта.

Ко всем недостаткам существующей системы организации перевозок пригородных пассажиропотоков добавляется отсутствие четкой, легко адаптируемой к любым условиям схемы освоения пассажиропотоков при технологических перерывах, сбоях и нарушениях работы какого-либо вида транспорта. Например, даже запланированные технологические периоды времени перерыва в движении на железной дороге – «окна» – образуют в пригородных перевозках зону бесконкурентного транспортного обслуживания населения автотранспортом.

Всеми вышеперечисленными факторами и обусловлена необходимость разработки новых высокоэффективных технологий по перевозке пассажиров в городском, пригородном и пригородно-городском сообщениях, направленных на снижение непроизводительного ожидания подвижного состава видов транспорта, участвующих в перевозке, и повышение мобильности. Четкое и наиболее полное взаимодействие видов транспорта по согласованным расписаниям с минимальным временем нахождения пассажиров в пунктах пересадки, максимальным уровнем надежности перевозки, хорошей информированностью пассажиров, унификацией проездных документов достигается при создании интермодальных транспортных систем (ИТС) в пассажирском сообщении.

Целями организации интермодальных пассажирских перевозок являются:

- повышение мобильности (подвижности) населения страны;
- обеспечение большей свободы передвижения и доступа к услугам качественной единой транспортной системы;
- снижение общей стоимости перевозок и привлечение за счет этого дополнительных пассажиров;
- социальное и экономическое развитие крупных городов и отдельных регионов.

При формировании ИТС необходимо руководствоваться следующими принципами, отражающими интересы пассажиров и видов транспорта, участвующих в ней:

1 Удобное время прибытия и отправления видов транспорта, участвующих в ИТС по начальным-конечным пунктам (станциям) участка и по станциям с большим объемом посадки-высадки пассажиров.

2 Минимальное время ожидания транспортных средств в пунктах пересадки.

3 Соблюдение сквозного уровня качества обслуживания, который должен сохраняться на каждом этапе перевозки в ИТС каждым видом транспорта.

4 Стоимость поездки в ИТС не должна превышать суммарную стоимость проезда в каждом из видов транспорта, используемых в ИТС.

5 Надежность. Для пассажиров надежность выражается в уверенности совершить поездку в нужное время с нужной скоростью. Транспорт, обеспечивая эту услугу, может рассчитывать на определенный размер пассажиропотока, а следовательно, на запланированную прибыль.

6 Адресность назначаемых маршрутов следования и оказываемых услуг.

7 Сбалансированность предлагаемых мест по видам транспорта, участвующих в ИТС.

8 Гарантированное транспортное обслуживание по всем логистическим цепочкам следования пассажиров.

9 Централизация управления работой ИТС.

10 Эффективная и безубыточная работа ИТС и каждого отдельного вида транспорта.

11 Гарантированная заполняемость транспортных средств, снижение непроизводительных простоев и порожних пробегов.

12 Гарантированное получение доходов от дополнительных услуг, оказываемых пассажирам.

В зависимости от потребности в транспортном обслуживании логистические схемы смешанных перевозок с участием железнодорожного и автомобильного

транспорта подразделяются по длительности и периодичности их функционирования:

– на постоянные, предназначенные для организации перевозочного процесса стабильных социально значимых сегментов пассажиропотока и функционирующие в течение всего года на отдельных маршрутах;

– сезонные – для обслуживания сезонного пассажиропотока (дачников, учащихся и других сегментов пассажиропотока), совершающего поездки в зависимости от времени года (сезона), режима работы предприятий, учебных заведений и других сезонных условий и факторов;

– туристские – для организации перевозок туристических групп к объектам историко-культурного наследия и иным достопримечательностям;

– периодические, организуемые на определенный период времени, например, на период предоставления технологического «окна» с закрытием перегона для движения поездов либо на период проведения различных культурно-массовых мероприятий;

– разовые, формируемые под отдельную перевозку, запланированную или носящую оперативный характер (например, при возникновении форс-мажорных обстоятельств).

Классификация логистических схем организации интермодального сообщения с участием железнодорожного и автомобильного транспорта по их месту в транспортном обеспечении населения на примере пригородных пассажирских перевозок приведена на рисунке 1.

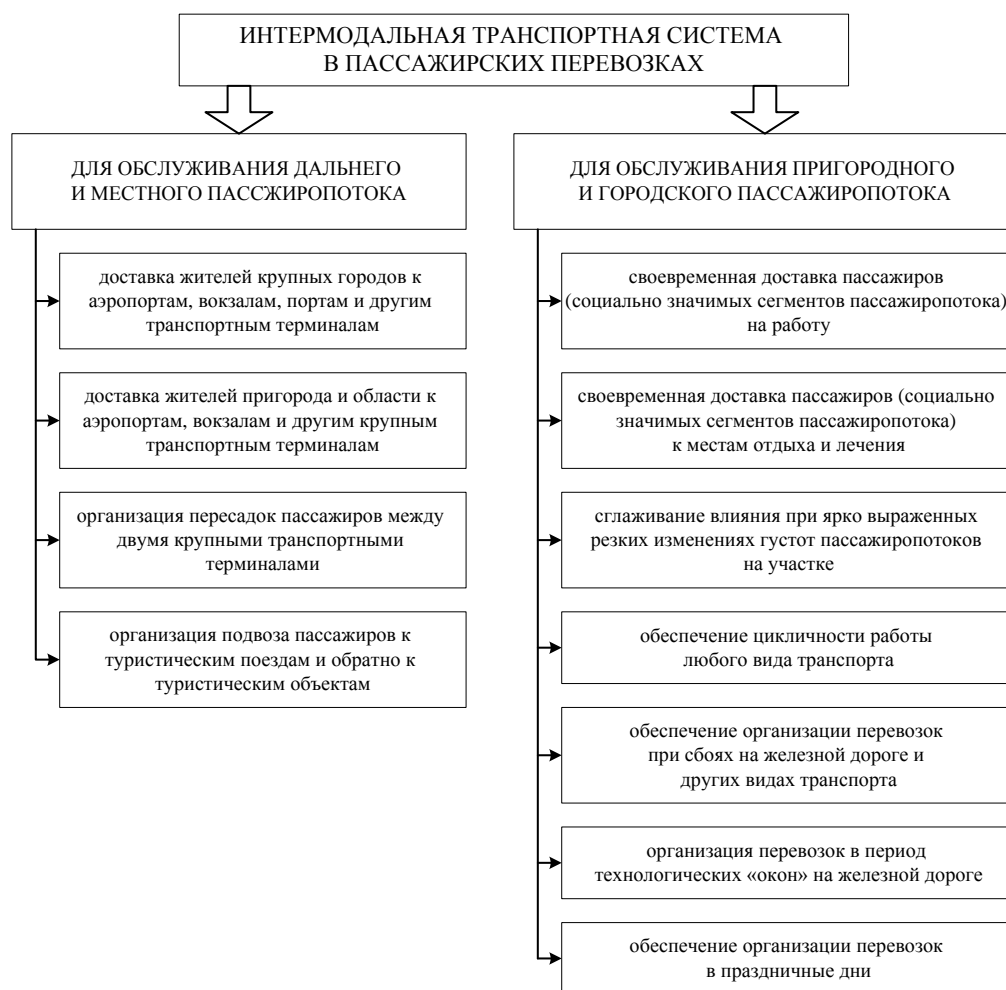


Рисунок 1 – Классификация смешанных перевозок с участием железнодорожного и автомобильного транспорта по их месту в транспортном обеспечении населения

Привлечение автомобильного транспорта к работе на маршруте смешанной перевозки может осуществляться посредством:

- изменения или усиления маршрутов регулярного автомобильного сообщения;
- организации заказных пассажирских перевозок автомобильным транспортом (где заказчиком перевозки будет выступать Белорусская железная дорога на договорной основе);
- аренды автобусов.

При соответствующем технико-экономическом обосновании и разработке бизнес-плана перевозки на отдельном смешанном маршруте может быть рассмотрен вопрос приобретения Белорусской железной дорогой собственных автобусов.

Варианты места размещения остановок/стоянок автомобильного транспорта при взаимодействии с железнодорожным:

- на железнодорожных вокзалах;
- попутном остановочном пункте городских линий.

Возможные виды организации интермодальных транспортных систем перевозки пассажиров железнодорожным и автомобильным транспортом применительно к условиям транспортного обеспечения населения Республики Беларусь:

1 Обслуживание районов, не охваченных инфраструктурой железных дорог (рисунок 2). Такие схемы смешанных перевозок организуются для обеспечения связи населенных пунктов с незначительной численностью населения (или районов города) с железнодорожной инфраструктурой. Кроме этого, следует рассматривать варианты организации периодических и разовых схем, предназначенных для поездок к памятным местам, местам массовых народных гуляний, организуемым городской или областной администрацией, а в периоды религиозных праздников – к местам захоронения близких, в монастыри, церкви и т.д. Отдельно стоит выделить пассажирские туристические перевозки, осуществляемые по достопримечательностям Республики Беларусь. В настоящее время потребности населения в таких перевозках учитываются и автотранспортными компаниями, и Белорусской железной дорогой: на направлениях, соответствующих перемещениям массовых пассажиропотоков в выходные и праздничные дни назначаются дополнительные пригородные поезда и автобусы.

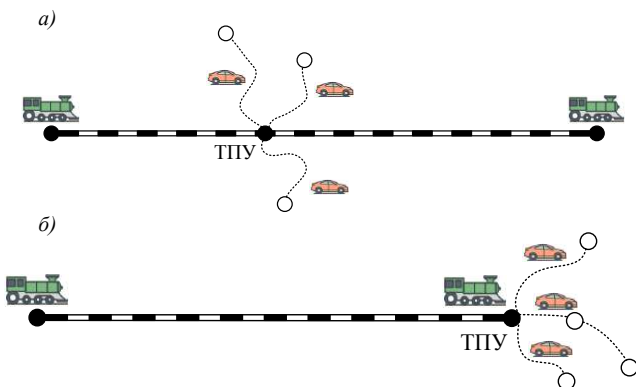


Рисунок 2 – Перевозки пассажиров в смешанном сообщении районов, не охваченных инфраструктурой железных дорог:

- a* – обеспечение транспортного обслуживания населенных пунктов, находящихся в зоне транспортного обслуживания линейных станций;
- б* – обеспечение транспортного обслуживания регионов без железнодорожной инфраструктуры

2 Обслуживание районов, охваченных инфраструктурой железных дорог, но с незначительным пассажиропотоком (рисунок 3).

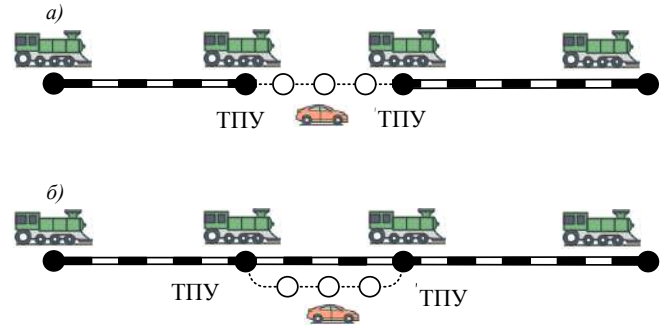


Рисунок 3 – Обслуживание районов, охваченных инфраструктурой железных дорог, но с незначительным пассажиропотоком:

- a* – соединение участков обращения поездов городских линий / региональных эконом-класса автомобильным сообщением;
- б* – сокращение режима стоянок поездов межрегиональных линий эконом-класса с передачей пассажиропотока на автомобильный транспорт по станциям, исключаемым из режима стоянок

На всех направлениях пригородного движения наблюдается неравномерность пассажиропотока по величине. На многих крупных станциях и остановочных пунктах наблюдается резкий перелом в размере пассажиропотока – его снижение или увеличение в зависимости от направления движения. Большой пассажиропоток, как правило, наблюдается вблизи крупных городов и административных центров. После станции перелома пассажиропотока использование транспортного средства большой вместимости, как правило, становится нерациональным. Поэтому для повышения эффективности использования подвижного состава на направлениях с ярко выраженным перепадом густот пассажиропотока следует организовывать логистические схемы с использованием транспортных средств различной вместимости. Например, пассажиров пригородных поездов после станций массовой высадки (станции с резким перепадом густоты пассажиропотока) можно развозить автобусами или маршрутными такси.

3 Обеспечение связи столицы с областными центрами и крупными городами при развитой инфраструктуре автомобильного транспорта в условиях низкой скорости железнодорожного сообщения в сравнении с автомобильным либо отсутствия (нехватки) пропускной способности железных дорог (рисунок 4).

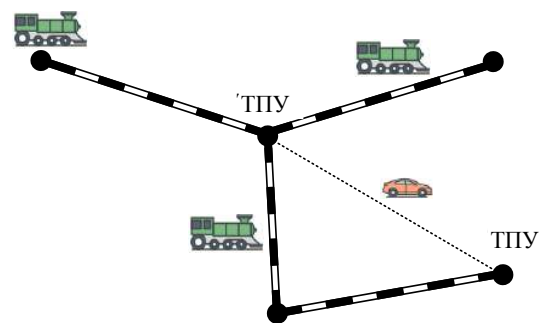


Рисунок 4 – Обеспечение связи столицы с областными центрами и крупными городами

4 Обслуживание жилых районов и/или промышленных зон (трудовая миграция), а также городов-спутников (рисунок 5).

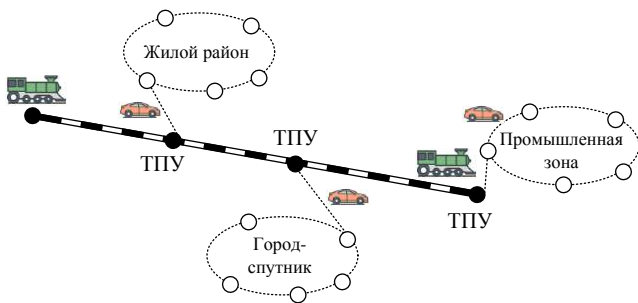


Рисунок 5 – Обслуживание жилых районов, промышленных зон, а также городов-спутников

Развоз населения автомобильным транспортом осуществляется на незначительные расстояния (в пределах жилого района либо промышленной зоны). Данный вид обслуживания приобретает наибольшую актуальность в связи с увеличением дальности поездки пригородных пассажиров в областные центры по причине отсутствия рабочих мест непосредственно в пригородах крупных городов.

5 Обеспечение транспортных связей железнодорожного и авиационного транспорта (рисунок 6).

Вынужденное расположение аэропортов на большом расстоянии от центров городов делает доступ к аэропортам все более затруднительным из-за усиления интенсивности автомобильного движения, что повышает привлекательность комбинированной транспортной схемы «поезд – автомобильный транспорт – самолет». Организация бесплатного курсирования с включением затрат на перевозку автомобильным транспортом в тариф на перевозку железнодорожным транспортом бизнес-класса способствует привлечению авиапассажиров аэропорта, которые предпочтут поездку на предоставленном по единому билету автотранспорте услугам такси.

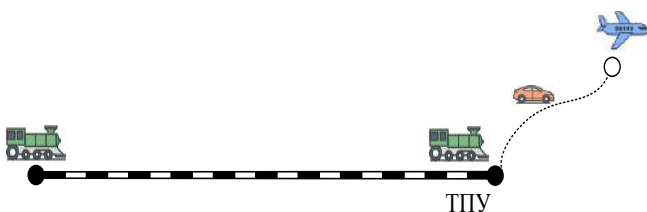


Рисунок 6 – Обеспечение транспортных связей железнодорожного и авиационного транспорта

Получено 15.10.2017

Е. А. Fedorov, М. А. Kilachytskaya. Necessary conditions and the principles of the organization of intermodal passenger traffic with participation of the railway and motor transport in Republic of Belarus.

Definite purposes of the organization of intermodal passenger traffic, classification of logistic schemes of the organization of the intermodal message with participation of the railway and motor transport is given. The principles of development of the intermodal transport systems in the context of the importance and priority of solvable tasks for the purpose of complex satisfaction of needs of passengers and organizers of bulk transportation are noted. Possible types of the organization of the intermodal transport systems of public conveyance by the railway and motor transport, in relation to conditions of transport service of the population of Republic of Belarus are characterized.

6 Взаимодействие сопредельных железнодорожных администраций при отсутствии прямого межгосударственного железнодорожного сообщения (рисунок 7).

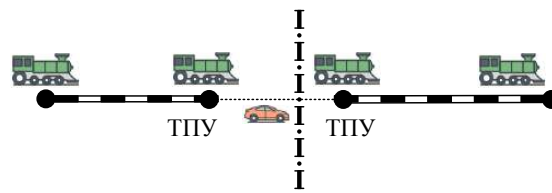


Рисунок 7 – Взаимодействие сопредельных железнодорожных администраций

Все описанные выше логистические схемы могут быть дополнены и расширены с учетом местных особенностей каждого региона, особенностей структуры пассажиропотоков и маршрутов их следования. Разработка комплекса программно-технических средств, сервисов продажи билетов на перевозку, технологии документооборота и денежных средств при организации интермодальных транспортных систем взаимодействия железнодорожного и автомобильного транспорта является одним из важных аспектов, требующих детальной проработки в дальнейших исследованиях по данной тематике. Следует отметить, что только комплексный подход к данной проблеме может позволить решить задачу тесного взаимодействия организационных структур управления железнодорожного и автомобильного пассажирского транспорта.

Список литературы

- 1 Интермодальные перевозки в пассажирском сообщении с участием железнодорожного транспорта : учеб. пособие / С. П. Вакуленко [и др.]; под ред. С. П. Вакуленко. – 2-е стер. изд. – М. : ФГБОУ «Учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. трансп.», 2014. – 263 с.
- 2 Киселев, А. Н. Интермодальные системы в пригородных пассажирских перевозках / А. Н. Киселев, Е. В. Копылова // Железнодорожный транспорт. – 2003. – № 10. – С. 65–67.
- 3 Правдин, Н. В. Взаимодействие различных видов транспорта: (примеры и расчеты) / Н. В. Правдин, В. Я. Негрей, В. А. Подкопаев; под ред. Н. В. Правдина. – М. : Транспорт, 1989. – 208 с.
- 4 Резер, С. М. Логистика пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте / С. М. Резер. – М. : ВИНТИ РАН, 2007. – 516 с.
- 5 Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте / П. С. Грунтов [и др.]. – М. : Транспорт, 1994. – 543 с.

УДК 656. 222. 3

В. Я. НЕГРЕЙ, доктор технических наук, К. М. ШКУРИН, аспирант, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ РАСЧЕТА ПЛАНА ФОРМИРОВАНИЯ ОДНОГРУППНЫХ ПОЕЗДОВ

Рассмотрены важнейшие принципы традиционных методов расчета плана формирования поездов. Обосновывается целесообразность использования при разработке оптимального плана формирования поездов дополнительного параметра – «критерия экономии затрат при следовании вагонов и локомотивов в сквозных поездах». Проанализировано влияние различных факторов на экономию затрат при следовании вагонов и локомотивов в сквозных поездах.

Сложные процессы, происходящие в государственной экономике, требуют разработки новых подходов к управлению работой железнодорожного транспорта. Одной из важнейших задач, решение которой во многом определяет эффективность перевозочного процесса, является разработка плана формирования поездов (далее – ПФП). Именно ПФП определяет эффективность использования транспортной инфраструктуры, подвижного состава, трудовых и финансовых ресурсов.

В 1940-е годы проф. А. П. Петровым было предложено применение при разработке ПФП *метода абсолютно-го расчета*. Использование данного метода предусматривает выполнение расчетов для всех потенциально реализуемых вариантов плана формирования и оценку затрат вагоно-часов на накопление и переработку вагонов для каждого из них. В то же время недостатком метода абсолютно-го расчета является необходимость выполнения большого объема вычислений при разработке плана формирования для направлений, на которых расположено более чем 5-6 сортировочных станций.

Альтернативный подход к разработке ПФП применяется в аналитических методах, предусматривающих постепенное нахождение плана формирования, близкого к оптимальному, путем выполнения расчетов в несколько итераций. Наибольшее распространение среди таких методов получил *метод совмещенных аналитических сопоставлений*, автором которого является проф. К. А. Бернгард, усовершенствовавший разработанный ранее метод аналитических сопоставлений проф. И. И. Васильева. Метод совмещенных аналитических сопоставлений основывается на построении графика назначений струй вагонопотока и его последующей поэтапной корректировке путем выделения в оптимальный план формирования назначений, обеспечивающих максимальную экономию вагоно-часов, затрачиваемых на накопление и переработку вагонов.

Разработанный канд. техн. наук А. И. Поповым *метод направленного перебора вариантов* позволяет сократить объем вычислений при выборе оптимального варианта ПФП. При использовании данного метода множество вариантов плана формирования представляется в виде графа, на осях которого помещают вершины, номера которых соответствуют номерам сквозных струй. Вершины на соседних осях графа соединяются дугами, указывающими на их принадлежность к одному варианту ПФП. Расчет производят последовательно, начиная с верхней ветви графа и слева направо; при этом затраты вагоно-часов при переходе от вершины к вершине по дуге графа увеличиваются с учетом затрат на накопление и уменьшаются с учетом экономии от проследования без переработки попутных

станций. Если при переходе от одной вершины к другой происходит рост затрат приведенных вагоно-часов, дальнейшие расчеты по данной ветви прекращаются, что позволяет исключить заведомо неконкурентные варианты ПФП.

Расчет сетевого плана формирования производится на ЭВМ по алгоритму *метода улучшения плана*, разработанного проф. С. В. Дуваляном. Суть этого метода заключается в постепенном улучшении ПФП путем перехода от одного множества назначений к другому за счет дополнения его другими назначениями. Этот процесс начинается с множества обязательных назначений и заканчивается тогда, когда в ПФП оказываются включенными все назначения, которые уменьшают суммарные приведенные затраты на накопление и переработку транзитных вагонов.

Таким образом, в традиционных методах разработки оптимального ПФП в качестве критерия оценки целесообразности установления назначений грузовых поездов используется критерий минимизации вагоно-часов, затрачиваемых на накопление и переработку вагонов.

В то же время при использовании исключительно вышеуказанного критерия не учитываются эксплуатационные расходы, связанные с нахождением вагонов и локомотивов в движении, которые могут значительно превышать затраты на накопление вагонов.

Для оценки эксплуатационных расходов, связанных с выбором того или иного варианта ПФП, в связи с большим числом факторов, оказывающих на них влияние, целесообразным является использование в расчетах расходных ставок, характеризующих приходную единицу измерителя величину «переменных» расходов (расходов, изменяющихся при одинаковых условиях перевозок пропорционально этому измерителю).

В соответствии с Методическими рекомендациями по расчету экономических параметров, позволяющих оценить эксплуатационные расходы по технологическим операциям услуг железнодорожного транспорта общего пользования, утвержденными приказом начальника Белорусской железной дороги от 20.12.2016 № 376Н, к измерителю «вагоно-часы» относятся расходы, связанные с амортизацией вагонов и контейнеров.

Для определения критерия оценки расходов, связанных с нахождением локомотивов в движении, при выборе оптимального ПФП используем измеритель «локомотиво-час в движении», с которым связаны расходы на амортизацию локомотивов, работу локомотивной бригады, затраты на топливо и т.д.

Согласно приложению 2 к приказу от 20.12.2016 № 376Н, величина расходной ставки одного вагоно-часа (далее – ваг.ч) составляет 1,33 руб.; величина расходной

ставки одного локомотиво-часа в движении – 499,32 руб. в тепловозной тяге и 447,63 руб. – в электровозной. Таким образом, стоимость 1 часа движения локомотива в тепловозной тяге эквивалентна стоимости 375 ваг.ч, в электровозной – 336 ваг.ч.

Для оценки целесообразности использования при разработке ПФП критерия минимизации затрат, связанных с нахождением вагонов и локомотивов в движении, рассмотрим направление А–D, на котором расположены четыре сортировочные станции. В рассматриваемом примере расстояния между станциями равны и составляют 120 км; экономия при проследовании сортировочной станции без переработки $T_{эк}$ (или затраты на переработку $T_{пер}$) составляет 5,0 ваг.ч; затраты, связанные с накоплением состава поезда $cm = 600$ ваг.ч.

Рассмотрим случай, когда мощность всех струй вагонопотока равна и составляет 50 вагонов. Сведения о направлении А–D приведены на рисунке 1.

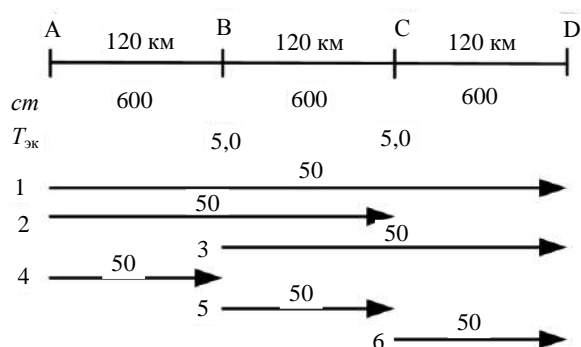


Рисунок 1 – Характеристика направления А–D

Для определения оптимального ПФП используем метод абсолютного расчета, предусматривающий выполнение вычислений для всех практически осуществимых вариантов плана формирования. В рассматриваемом примере является возможным выделение трех сквозных струй (А–D, А–С, В–D) вагонопотока в самостоятельные назначения, что означает необходимость расчета затрат для восьми вариантов плана формирования. На рисунке 2 приведен граф, на котором отмечены возможные варианты плана формирования поездов.

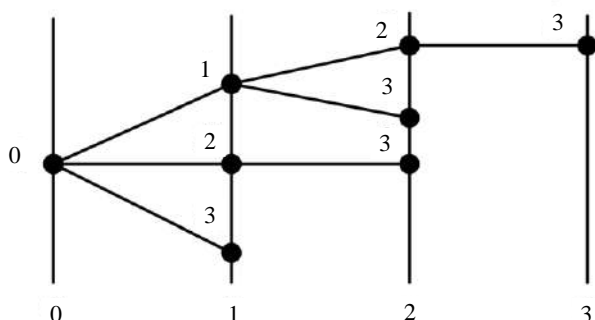


Рисунок 2 – Граф вариантов ПФП для направления А–D

Рассмотрим каждый из показанных выше вариантов и сравним затраты, связанные с накоплением составов поездов cm и с переработкой вагонов на сортировочных станциях $nT_{пер}$. Так, при реализации варианта ПФП, предусматривающего следование всех вагонов в участковых поездах (вариант «0»), затраты на накопление составов поездов на участки А–В, В–С, С–D составят $\sum cm = 3 \cdot 600 = 1800$ ваг.ч; затраты, связанные с переработкой вагонов на

сортировочных станциях, $\sum nT_{пер} = (50 + 50 + 50 + 50) \times 5,0 = 1000$ ваг.ч, а общие затраты $B_{общ} = 1800 + 1000 = 2800$ ваг.ч.

В случае реализации варианта ПФП «0–1» в самостоятельное назначение выделяется струя вагонопотока № 1 (А–D), остальные вагоны доставляются участковыми поездами А–В, В–С, С–D. Затраты, связанные с накоплением составов поездов, составят $\sum cm = 4 \cdot 600 = 2400$ ваг.ч, затраты, связанные с переработкой вагонов (переработкой струи А–С на станции В, струи В–D – на станции С) $\sum nT_{пер} = 2 \cdot 5,0 \cdot 50 = 500$ ваг.ч, общие затраты $B_{общ} = 2400 + 500 = 2900$ ваг.ч.

Результаты аналогичных расчетов для всех возможных вариантов плана формирования сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Сравнение вариантов ПФП для направления А–D

Вариант ПФП	$\sum cm$, ваг.ч	$\sum nT_{пер}$, ваг.ч	$B_{общ}$, ваг.ч
0	1800	1000	2800
0–1	2400	500	2900
0–1–2	3000	250	3250
0–1–2–3	3600	0	3600
0–1–3	3000	250	3250
0–2	2400	750	3150
0–2–3	3000	500	3500
0–3	2400	750	3150

Таким образом, при использовании традиционных методов расчета наименьшие затраты обеспечиваются при доставке всех вагонов на станции назначения участковыми поездами.

Исследование, выполненное в 2015 году на участке Минск – Орша, показало, что даже в пределах одного участка скорости грузовых поездов могут значительно отличаться в зависимости от их категории. Так, в октябре 2015 года средняя участковая скорость сквозного поезда $v_{скв}$, следующего в направлении Минск – Орша, составила 53,2 км/ч; средняя скорость участкового поезда $v_{уч}$ – 45,0 км/ч. На направлении Орша – Минск средние участковые скорости сквозных и участковых поездов составили соответственно 54,7 и 49,2 км/ч.

В связи с вышеизложенным, при разработке плана формирования целесообразным является введение дополнительного параметра – критерия экономии затрат при следовании вагонов и локомотивов в сквозных поездах. В этом случае оптимальный план формирования может отличаться от плана формирования, разработанного по традиционным методам.

Используя данные о длине участков направления А–D, рассчитаем среднее время проследования каждого из участков участковым поездом $t_{уч}$ и сквозным поездом $t_{скв}$. Экономия времени при следовании вагонов и локомотивов в составе сквозных поездов $\Delta t_{скв}$ будет определяться по формуле

$$\Delta t_{скв} = t_{уч} - t_{скв} = \frac{L_{уч}}{v_{уч}} - \frac{L_{уч}}{v_{скв}}. \quad (1)$$

Приходящуюся на один вагон экономию затрат при следовании вагонов и локомотивов в сквозных поездах

R в приведенных вагоно-часах (далее – пр. ваг.ч) можно вычислить при помощи формулы

$$R = \Delta t_{\text{скв}} k_{\text{лок}} \frac{1}{m} + \Delta t_{\text{скв}} = \Delta t_{\text{скв}} \left(\frac{k_{\text{лок}}}{m} + 1 \right), \quad (2)$$

где $k_{\text{лок}}$ – коэффициент приведения локомотиво-часов экономии к вагоно-часам; m – средний состав следующего по участку поезда, ваг.

Определим значение параметра R при пропуске вагонов и локомотивов в сквозных поездах по различным участкам направления А–D.

Для расчетов принимаем, что средняя скорость участковых поездов $v_{\text{уч}}$ составляет 45,0 км/ч, а скорость сквозных поездов $v_{\text{скв}}$ превышает её на 5,0 % и составляет 47,25 км/ч. Средний состав поезда, следующего по направлению А–D, принимаем равным 60 вагонам.

Для того чтобы привести локомотиво-часы экономии к вагоно-часам, учитываем, что на рассматриваемом направлении применяется тепловозная тяга. Коэффициент приведения $k_{\text{лок}}$ в этом случае составит 375.

Результаты расчета параметра R сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Определение параметра R для различных участков направления А–D

Показатель	Участок		
	А–С	В–D	А–D
Длина участка, км	240	240	360
$t_{\text{уч}}$, ч	5,33	5,33	8,00
$t_{\text{скв}}$, ч	5,08	5,08	7,62
$\Delta t_{\text{скв}}$, ч	0,25	0,25	0,38
R , пр. ваг.ч.	1,84	1,84	2,76

Для струи вагонопотока мощностью n экономия затрат при следовании вагонов и локомотивов в сквозных поездах Rn составит

$$Rn = \Delta t_{\text{скв}} \left(\frac{k_{\text{лок}}}{m} + 1 \right) n. \quad (3)$$

Анализ формулы (3) показывает, что значение параметра Rn возрастает при увеличении мощности струи вагонопотока, а также при увеличении длины участка, по которому следует поезд. В то же время значение параметра снижается при увеличении среднего состава обращающихся поездов, поскольку в этом случае для организации пропуска вагонопотока по участку потребуются меньшее число локомотивов.

Проиллюстрируем эти выводы на примере струи вагонопотока А–D.

Данные о влиянии изменения среднего состава поезда m на значение параметра Rn сведены в таблицу 3 и по ним построен рисунок 3.

Таблица 3 – Определение влияния изменения среднего состава поезда m на значение параметра Rn

m , ваг.	R , пр. ваг.ч	Rn , пр. ваг.ч
40	3,95	198
48	3,36	168
56	2,93	147
64	2,61	131
72	2,37	118
80	2,17	108

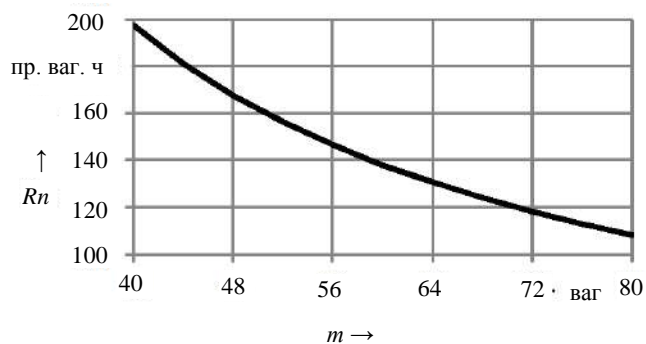


Рисунок 3 – Влияние изменения среднего состава поезда m на значение параметра Rn

Рисунок 3 показывает, что значение параметра Rn обратно пропорционально среднему составу грузового поезда, следующего по рассматриваемому участку.

В таблице 4 приведены результаты расчета влияния изменения мощности струи вагонопотока n на величину параметра Rn и по ним построен график, приведенный на рисунке 4.

Таблица 4 – Определение влияния изменения мощности струи вагонопотока n на значение параметра Rn

n , ваг.	R , пр. ваг.ч	Rn , пр. ваг.ч
50	2,76	138
70		193
90		249
110		304
130		359
150		414

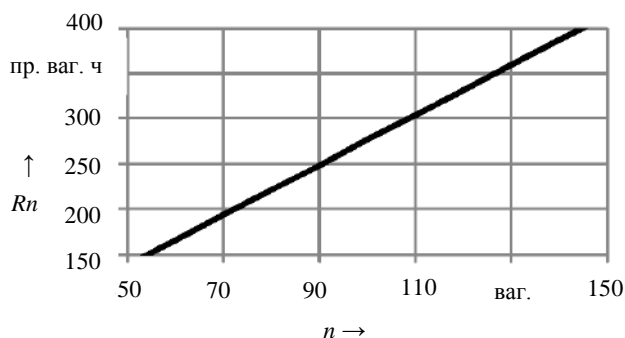


Рисунок 4 – Влияние изменения мощности струи вагонопотока n на значение параметра Rn

Из рисунка 4 следует, что при увеличении мощности струи вагонопотока экономия затрат при следовании вагонов и локомотивов в сквозных поездах возрастает линейно.

Результаты расчета влияния длины участка $l_{\text{уч}}$ на величину параметра Rn приведены в таблице 5 и по ним построен рисунок 5.

Таблица 5 – Определение влияния длины участка $l_{\text{уч}}$ на значение параметра Rn

$l_{\text{уч}}$, км	$\Delta t_{\text{скв}}$, ч	R , пр. ваг.ч	Rn , пр. ваг.ч
60	0,06	0,46	23
120	0,13	0,92	46
180	0,19	1,38	69
240	0,25	1,84	92
300	0,32	2,30	115
360	0,38	2,76	138

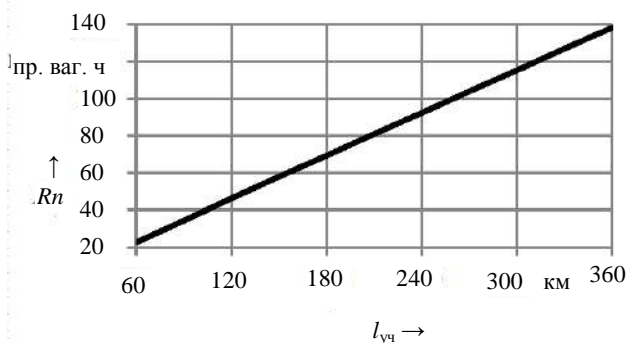


Рисунок 5 – Влияние длины участка $l_{уч}$ на величину параметра Rn

Рисунок 5 показывает, что при увеличении длины участка экономия затрат при следовании вагонов и локомотивов в сквозных поездах Rn возрастает.

Используем параметр Rn при расчете оптимального плана формирования поездов для направления А–D.

Для варианта ПФП «0–1» параметр Rn будет равен

$$Rn = \left(\frac{360}{45} - \frac{360}{47,25} \right) \cdot \left(\frac{375}{60} + 1 \right) \cdot 50 = 138 \text{ пр. ваг.ч.}$$

Результаты расчетов параметра Rn , а также общих затрат $B_{общ}$ для всех вариантов плана формирования сведены в таблицу 6.

Таблица 6 – Сравнение вариантов ПФП для направления А–D при использовании параметра Rn

Вариант	При использовании традиционного метода расчета	При использовании параметра Rn	
	$B_{общ}$, ваг.ч	Rn	$B_{общ}$
		пр. ваг.ч	
0	2800	0	2800
0–1	2900	138	2762
0–1–2	3250	230	3020
0–1–2–3	3600	322	3278
0–1–3	3250	230	3020
0–2	3150	92	3058
0–2–3	3500	184	3316
0–3	3150	92	3058

Выполненные расчеты показали, что наименьшие затраты обеспечиваются при выделении в самостоятельное назначение струи № 1 (А–D).

Для оценки эффекта от использования при разработке ПФП критерия экономии затрат при следовании вагонов и локомотивов в сквозных поездах выполним аналогичные расчеты в случаях, если струи вагонопотока имеют большую мощность n , а также при большей разнице между скоростями участковых и сквозных поездов Δv . В таблице 7 приведены оптимальные варианты ПФП, рассчитанные с использованием традиционного и предлагаемого методов, а также экономия приведенных вагоно-часов $\Delta B_{общ}$, получаемая при использовании предлагаемого метода расчета.

Получено 21.06.2017

V. Ya. Negrey, K. M. Shkurin. The development of the one-group train formation plan calculation theory.

The most important principles of the traditional methods of the calculation of train formation plan are considered. The use of the additional parameter in the development of train formation plan – «the criterion of cost saving by moving rolling stock in through-trains» – is justified. The influence of various factors on cost saving by moving rolling stock in through-trains is analyzed.

Таблица 7 – Выбор оптимального варианта ПФП

Δv , %	n , ваг.	Выбор варианта ПФП традиционным методом		Выбор варианта ПФП с учетом параметра Rn		$\Delta B_{общ}$, пр. ваг.ч
		оптимальный	$B_{общ}$, пр. ваг.ч	оптимальный	$B_{общ}$, пр. ваг.ч	
5	50	0	2800	0–1	2762	38
	75	0–1	2943	0–1	2943	0
	100	0–1	3124	0–1–2–3	2956	168
10	50	0	2800	0–1	2636	164
	75	0–1	2755	0–1–2–3	2677	78
	100	0–1	2873	0–1–2–3	2370	503
15	50	0	2800	0–1	2522	278
	75	0–1	2583	0–1–2–3	2276	307
	100	0–1	2643	0–1–2–3	1835	808

Из таблицы 7 видно, что при разнице между скоростями участковых и сквозных поездов в 5 % и мощности струй вагонопотока, равной 100 вагонов, при использовании предлагаемого метода подтверждается целесообразность выделения в самостоятельные назначения струй вагонопотока № 1, 2, 3 (А–D, А–С, В–D), тогда как при использовании традиционного метода обосновывается только целесообразность выделения струи вагонопотока № 1 (А–D). При этом расчет оптимального варианта ПФП с учетом параметра Rn обеспечивает экономию $\Delta B_{общ} = 168$ пр. ваг.ч.

При увеличении мощности струй вагонопотока и разницы между скоростями участковых и сквозных поездов эффект от использования предлагаемого метода возрастает. Так, при мощности струй вагонопотока, равной 100 вагонов, и $\Delta v = 15$ % он достигает 808 пр. ваг.ч.

Исходя из вышеизложенного, после расчета оптимального плана формирования поездов традиционным методом предлагается выполнять проверку маломощных струй вагонопотоков, не выделенных в самостоятельные назначения, с использованием критерия экономии затрат при следовании вагонов и локомотивов в сквозных поездах. Использование указанного дополнительного критерия может подтвердить целесообразность выделения таких струй вагонопотоков в самостоятельные назначения, что обеспечит значительное сокращение эксплуатационных расходов.

Список литературы

- 1 Акулиничев, В.М. Организация вагонопотоков / В. М. Акулиничев. – М. : Транспорт, 1979. – 224 с.
- 2 Вдовин, А. Н. На основе имитационного моделирования / А. Н. Вдовин, И. Н. Шапкин // Железнодорожный транспорт. – 2013. – № 3. – С. 37–41.
- 3 Вентцель, Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методы / Е. С. Вентцель. – М. : Наука, 1988. – 206 с.
- 4 Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте : учеб. для вузов / П. С. Грунтов [и др.]; под ред. П. С. Грунтова. – М. : Транспорт, 1994. – 543 с.
- 5 Некрашевич, В. И. Управление эксплуатацией локомотивов / В. И. Некрашевич, В. И. Апатцев. – М. : РГОТУПС, 2004. – 257 с.
- 6 Правдин, Н. В. Прогнозирование грузовых потоков / Н. В. Правдин, М. Л. Дыканюк, В. Я. Негрей. – М. : Транспорт, 1987. – 247 с.

УДК 656.228.073.235(476)

И. А. ЕЛОВОЙ, доктор экономических наук, профессор, С. А. ПЕТРАЧКОВ, инженер, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАЗВИТИЯ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПЕРЕВОЗОК В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Рассмотрены причины переориентации грузопотоков на контейнерный способ доставки, основные тенденции развития контейнерных перевозок в мире. Приведены концептуальные положения развития контейнерных перевозок в Республике Беларусь, основные принципы системного подхода при создании транспортно-логистической системы. Даны рекомендации о целесообразности применения контейнерных перевозок.

Мировой рынок контейнерных перевозок является одним из наиболее динамично развивающихся. По прогнозам объем перевозок будет расти темпом около 6 % в год. Глобализация экономической деятельности способствует переориентации на контейнерный способ доставки все большего числа грузов по следующим причинам:

- 1) обеспечение рациональной партионности отправок грузов;
- 2) применение комплексной механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных и перегрузочных работ;
- 3) уменьшение продолжительности доставки грузов и затрат на транспорте, у грузоотправителей и грузополучателей за счет непрерывности перевозочного процесса на транспорте общего и необщего пользования;
- 4) максимальное снижение затрат на тару и упаковку у клиентов транспорта;
- 5) улучшение качества перевозок и транспортного обслуживания клиентов за счет доставки грузов «от двери отправителя до двери получателя»;
- 6) широкое применение информационно-управляющих систем при контейнерном способе доставки и др.

К основным тенденциям развития контейнерных перевозок в мире можно отнести:

- 1) развитие и внедрение современных технологий контейнеризации грузов на рынке контейнерных пере-

возок. При этом большое внимание уделяется вопросам разработки и производства новых видов контейнеров;

- 2) развитие контейнерной инфраструктуры и мощностей по обработке контейнеров на стратегическом направлении Азия – Европа;

- 3) формирование стратегических альянсов и ассоциаций, ведущее к консолидации рынка контейнерных перевозок, созданию транспортно-логистических групп, предоставляющих широкий спектр услуг;

- 4) рост конкуренции на рынке контейнерных перевозок, что приводит к повышению требований к качеству транспортных услуг и срокам доставки грузов в контейнерах, оказывает сдерживающее влияние на тарифы операторов;

- 5) увеличение запросов клиентов на комплексные логистические решения при доставке контейнеров, повышение доли услуг интегрированной логистики.

С учетом данных мировых тенденций развитие контейнерных перевозок следует отнести к одному из приоритетных направлений в совершенствовании транспортно-логистического комплекса Республики Беларусь. Широкое применение контейнерного способа доставки позволит обеспечить высокое качество транспортного обслуживания, сохранность грузов, скорость и экономичность поставки, безопасность и экологичность перевозок.

Предлагаемые концептуальные положения развития контейнерных перевозок приведены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Концептуальные положения развития контейнерных перевозок

Развитие контейнерных перевозок в Республике Беларусь целесообразно осуществлять в соответствии со следующими положениями создания транспортно-логистической системы:

1 Системный подход, основанный на следующих положениях:

1.1 Логистические услуги формируются на основе требований снабжения, производства и сбыта конечной готовой продукции. В частности, сложная логистическая производственно-транспортная система связана с производством конкретной конечной готовой продукции

для определенного сектора товарного рынка (рисунок 2). Как правило, эта сложная система связана с территорией нескольких государств. На первых стадиях такой системы добывается сырье, на вторых производится полуфабрикаты, а на третьих – комплектующие изделия. Например, железная руда добывается в первом государстве, из нее выплавляется металл, из которого производятся комплектующие изделия во втором государстве, а на головном предприятии в третьем государстве собирается конечная готовая продукция с использованием других комплектующих (например, автомобиль).

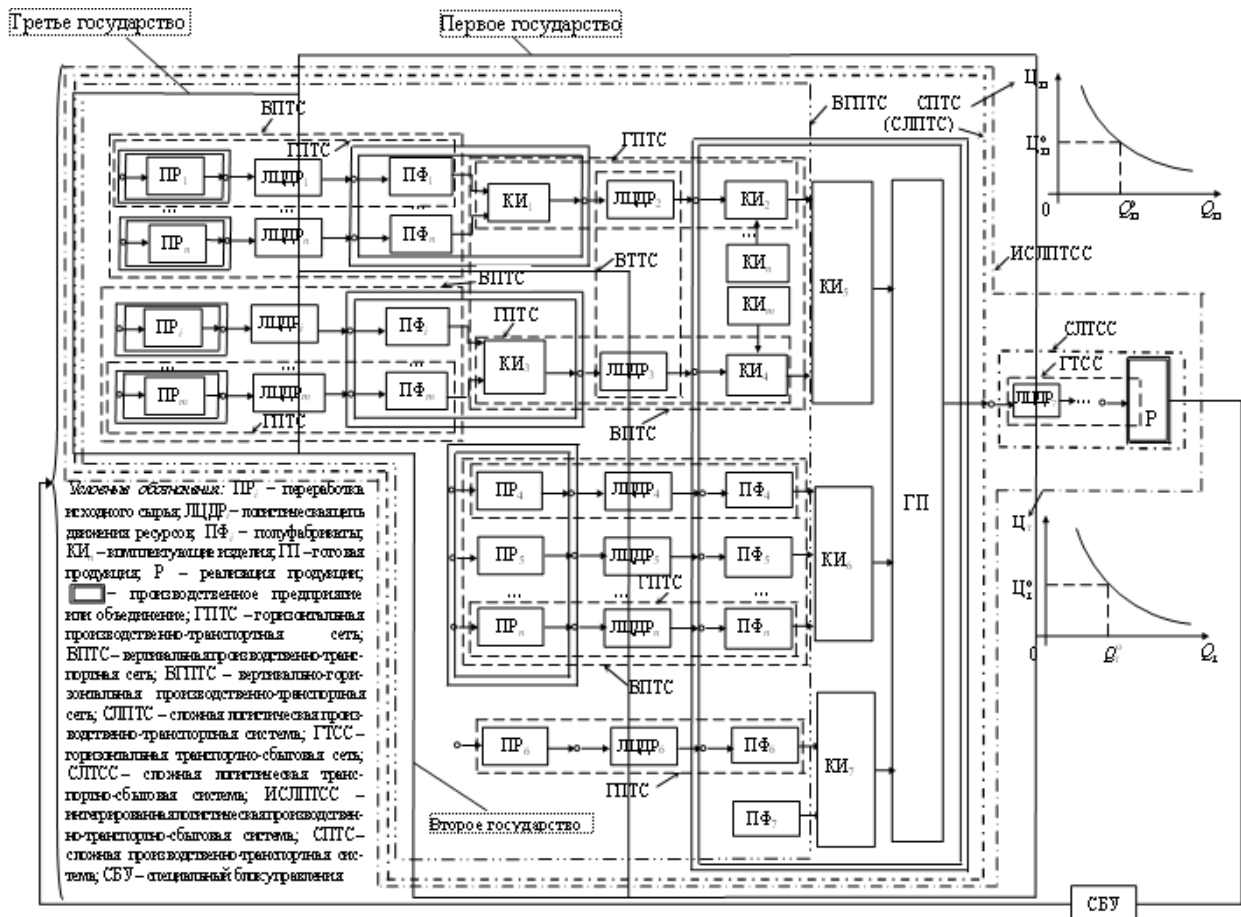


Рисунок 2 – Интегрированная сложная логистическая производственно-транспортно-сбытовая система

1.2 Контейнерные перевозки должны развиваться в соответствии с потребностями логистических цепей движения ресурсов в сложных логистических производственно-транспортных и транспортно-сбытовых системах (рисунок 3). В большинстве случаев эти сложные системы являются международными, так как размещаются на территории нескольких государств. Подсистема контейнерных перевозок рассматривается как составляющая часть большой транспортно-логистической системы Республики Беларусь. В свою очередь, в основу формирования транспортно-логистической системы закладываются потоки логистических цепей движения ресурсов вышеуказанных сложных логистических систем.

1.3 Логистические цепи движения ресурсов связывают между собой звенья рассматриваемой сложной логистической системы (см. рисунок 3). Следует обратить внимание на разницу между производственными, торговыми и транспортными логистическими центрами:

производственные и торговые логистические центры работают с материальными потоками, а транспортно-логистические – с грузовыми. В свою очередь, схемы доставки ресурсов находятся внутри рассматриваемой цепи и обеспечивают их перемещение между логистическими центрами. В схеме доставки груза может участвовать один или несколько видов транспорта.

1.4 Контейнеризация перевозок должна основываться на логистических схемах доставки грузов, которые являются звеньями логистических цепей движения ресурсов, соединяющими между собой производственные и торговые логистические центры, а также торговые логистические центры между собой (см. рисунок 3). Производственные и торговые логистические центры являются самостоятельными хозяйствующими субъектами или их элементами, но учитываются при оценке схемы доставки груза в контейнере или другим способом.

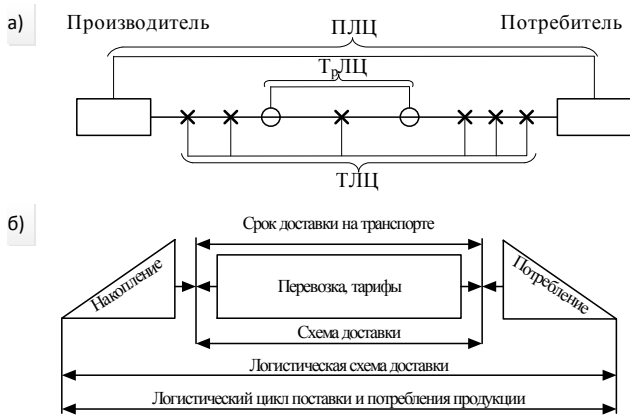


Рисунок 3 – Логистические схемы движения ресурсов и доставки продукции:

a – принципиальная схема логистической цепи движения ресурсов между элементами сложной логистической системы;
b – логистическая схема доставки продукции

Транспортно-логистические центры находятся внутри схем доставки грузов в контейнерах и выполняют функции по стыковке различных видов транспорта в транспортных узлах, перегрузке контейнеров с одного вида на другой, сортировке контейнеров и др.

1.5 В основу формирования схем доставки грузов в контейнерах закладываются верхние пределы транспортно-логистических издержек и сроков поставки, объемы поставок, устанавливаемые соответственно из допустимых издержек на звеньях логистических цепей движения ресурсов, спроса на них и продолжительности поставок.

1.6 Учет интересов производственных, снабженческих, сбытовых, транспортных хозяйствующих субъектов, государств и их объединений, транснациональных корпораций в пределах международных сложных логистических систем. Одновременно будут согласованы экономические интересы участвующих сторон, технические и правовые вопросы, технологические процессы при перевозках грузов без перегрузки их в пути следования в контейнерах и получен за счет этого максимальный эффект на всем протяжении в пути следования.

2 Развитие логистического сервиса осуществляется как в целом в логистических цепях движения ресурсов, так и в комплексном транспортно-экспедиционном обслуживании по принципу «одного окна» в пределах схем доставки грузов в контейнерах «от двери до двери». Для реализации данного положения следует более быстрыми темпами создавать транспортно-логистическую систему, которая предусматривает гармоничное взаимодействие и пропорциональное развитие производственных, торговых и транспортно-логистических центров с целью использования преимуществ участвующих в интер/мультиmodalных схемах видов транспорта и уменьшения за счет этого транспортно-логистических издержек.

3 Моделирование логистических цепей движения ресурсов с целью выбора оптимальных режимов их функционирования и информационно-компьютерная поддержка потоковых процессов предусматривает использование при анализе, синтезе и оптимизации объектов в рассматриваемых цепях и логистических схе-

мах доставки грузов в контейнерах математических, графических, имитационных и других моделей. Это позволит смоделировать процессы поставки и доставки материальных ресурсов и конечной готовой продукции, исключить в последующем сбои в этих процессах, минимизировать запасы, выбрать оптимальные режимы функционирования и взаимодействия в логистических цепях движения ресурсов и схемах доставки грузов в контейнерах. При этом следует учитывать, что эффективное функционирование процесса перевозки грузов в контейнерах в режиме реального времени невозможно без современной информационно-компьютерной поддержки.

4 Всеобщее управление качеством в процессе поставки ресурсов в логистических цепях движения ресурсов и транспортным обслуживанием с помощью эффективных схем доставки грузов в контейнерах обеспечивается за счет доставки тарно-штучных грузов. Это позволяет минимизировать транспортно-логистические издержки во всей логистической цепи движения ресурсов путем механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных и перегрузочных работ, улучшения сохранности перевозимых грузов и ускорения их доставки, эффективного управления процессами взаимодействия между участвующими видами транспорта в схемах доставки грузов. Эффективное взаимодействие легко реализуется в условиях концентрации логистических потоков в современных информационных логистических центрах различных видов и высокотехнологизированных терминальных комплексах, где контейнер используется как временный склад.

5 Гуманизация всех функций и технологических решений в логистических цепях движения ресурсов и схемах доставки грузов в контейнерах предполагает учет не только экономических, но и социальных, политических и экологических аспектов в пределах рассматриваемых цепей и схем. В частности, контейнерный способ доставки позволяет повысить производительность труда при выполнении перегрузочных операций с контейнерами в 3–4 раза; существенно улучшить культуру обслуживания клиентов, в том числе при приеме и выдаче грузов; создать престижные условия труда за счет механизации и автоматизации трудоемких вспомогательных грузовых и документальных операций и др.

6 Устойчивость и адаптивность логистических цепей движения ресурсов и схем доставки грузов в контейнерах предполагает на последних элементах сложных логистических производственно-транспортных систем обеспечить поставку, например, комплектующих изделий к определенному моменту времени, используя контейнер как временный склад в ожидании такого момента. Такой режим обслуживания обусловлен тем, что в условиях большого ассортимента конечной готовой продукции сложно спрогнозировать потребность в определенных комплектующих изделиях и их запасах. В такой ситуации наиболее целесообразным является способ доставки к определенному моменту времени в соответствии со спросом. В свою очередь, несвоевременная поставка конечной готовой продукции может привести к потере покупателя. Следовательно, адаптивность предполагает быструю приспособляемость схем доставки грузов в контейнерах

к изменениям объемов перевозок и провозных платежей (тарифов и сборов), к требованиям рынка транспортных услуг. Такие схемы доставки будут устойчивыми, если они будут эффективно функционировать в условиях изменяющихся объемов перевозок грузов в контейнерах по приемлемым провозным платежам.

7 Совершенствование тарифообразования на услуги при перевозке контейнеров. В основу ценообразования при перевозке контейнеров должны закладываться их конкурентоспособные схемы доставки, которые характеризуются такими параметрами как верхние пределы провозных платежей и сроков доставки, сохранность груза и уровень транспортно-экспедиционного обслуживания. Параметры конкурентоспособной схемы доставки контейнеров не должны превышать их предельных значений. В случае невыполнения данного требования будет использоваться другая схема доставки контейнера.

Установление комплексных ставок при экспортно-импортных и внутриреспубликанских перевозках контейнеров, конкурентоспособных сквозных тарифных ставок на транзитные перевозки контейнеров по Белорусской железной дороге с учетом предельных провозных платежей эффективных схем доставки контейнеров позволит повысить конкурентоспособность таких перевозок и привлечь дополнительные объемы контейнеропригодных грузов.

8 Оптимизация структуры контейнерного парка и модернизация терминально-складской инфраструктуры. Дополнительный объем контейнерных перевозок в будущем может быть обеспечен за счет увеличения контейнерных отправок грузов строительной и химической отраслей, продовольственных товаров, ламинированного ДСП, картона, консолидации и контейнеризации мелких партий тарно-упаковочных грузов. Однако существенными сдерживающими факторами развития контейнерных перевозок являются:

1) отсутствие оптимальной структуры специализированных контейнеров для перевозки грузов строительной и химической отраслей, наливных, скоропортящихся и других грузов;

2) значительная неприспособленность инфраструктуры грузовладельцев для загрузки-выгрузки, переработки контейнеров. Например, наличие одной торцевой двери у крупнотоннажных контейнеров затрудняет их загрузку-разгрузку, если они находятся на платформах. Изготовление и использование универсальных крупнотоннажных контейнеров с раздвигающейся бо-

ковой стенкой или дверью позволяет решить эту задачу. Поэтому модернизация терминально-складской инфраструктуры должна включать развитие контейнерных терминалов как общего пользования, так и у грузовладельцев.

Выполненные в БелГУТе исследования показали:

1) в последних и средних логистических цепях движения ресурсов сложных логистических производственно-транспортных систем в большинстве случаев целесообразно использовать контейнерные перевозки в интер-/мультимодальных схемах доставки грузов, а в начальных логистических цепях движения ресурсов этой сложной системы, где перевозятся сырьевые грузы в виде массовых навалочных грузов, контейнерные перевозки грузов нецелесообразны;

2) в начальных и средних логистических цепях движения конечной готовой продукции в сложных логистических транспортно-сбытовых системах контейнерные перевозки целесообразны в большинстве случаев, а в последних логистических цепях движения в этих же системах доставлять конечную готовую продукцию до непосредственных потребителей розничной торговли целесообразно мелкими партиями автомобильным транспортом небольшой грузоподъемности или в малотоннажных контейнерах;

3) реализация вышеизложенных концептуальных положений развития контейнерных перевозок позволит создать эффективную транспортно-логистическую систему Республики Беларусь и входящую в нее подсистему контейнерных перевозок.

Список литературы

1 **Еловой, И. А.** Управление потоками в логистических системах мировой экономики / И. А. Еловой, В. И. Похабов, М. М. Колос; под науч. ред. В. Ф. Медведева. – Минск : ИООО «Право и экономика», 2006. – 266 с.

2 **Кириллова, А. Г.** Мультимодальные контейнерные и контейнерные перевозки / А. Г. Кириллова. – М. : ВИНТИ РАН, 2011. – 260 с.

3 Исследование организации перевозок контейнеров и разработка проекта Концепции развития контейнерных перевозок в Республике Беларусь на период 2016–2020 годы : отчет о НИР / Белорус. гос. ун-т трансп.; рук. Еловой И. А.; исполн.: Ясинский В. В. [и др.]. – Гомель, 2016. – 146 с.

4 **Еловой, И. А.** Современные тенденции рынка железнодорожных грузовых перевозок / И. А. Еловой, В. В. Ясинский, М. М. Колос. – Гомель : БелГУТ, 2010. – 210 с.

5 **Резер, С. М.** Управление транспортом за рубежом / С. М. Резер. – М. : Наука, 1994. – 330 с.

Получено 24.11.2017

I. A. Yelovoy, S. A. Petrachkou. Conceptual regulations of the development of container transportation in the Republic of Belarus.

The reasons for the reorientation of cargo streams to the container method of delivery and the main trends of the development of container transportation in the world are considered. The conceptual regulations of the development of container transportations in the Republic of Belarus are presented. The main principles of the system approach in the creation of the transport and logistic systems are given. Recommendations on the expediency of using container transport are given.

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 624.131.52

В. В. ТАЛЕЦКИЙ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОСТОЯННЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ УПРУГОСТИ ОРТОТРОПНЫХ ГРУНТОВ

Предлагается определять не традиционные механические характеристики ортотропных грунтов (модули упругости, модули сдвига и коэффициенты Пуассона), а постоянные коэффициенты упругости, непосредственно связывающие относительные деформации и напряжения в обобщенном законе Гука. Все испытания проводятся в одном приборе с независимо регулируемые главными напряжениями. Повышается точность определения постоянных коэффициентов упругости за счет сокращения количества испытываемых образцов и проведения всех испытаний в одном приборе.

При объемном упругом напряженном состоянии связь между напряжениями и деформациями дает *обобщенный закон Гука*, по которому в любой точке упруго деформированного тела каждый из шести компонентов тензора напряжений является линейной функцией шести компонентов тензора деформаций, и наоборот. В случае упругого *анизотропного материала* между напряжениями и деформациями при объемном напряженном состоянии будет иметь место система линейных уравнений, которую сокращенно можно записать в виде $\sigma_{ij} = C_{ijkl} \varepsilon_{kl}$, где матрица величин C_{ijkl} называется тензором модулей (постоянных коэффициентов) упругости. Таким образом анизотропное тело характеризуется 36 упругими постоянными C_{ijkl} . Но если $C_{ijkl} = C_{klij}$, то остается 21 независимая постоянная. При этом направления главных напряжений и главных деформаций совпадают.

Если координатные плоскости совпадают с плоскостями симметрии свойств материала (то есть материал будет обладать одинаковыми свойствами по осям x , y и z), то количество независимых упругих постоянных еще уменьшится и станет равным девяти. Система уравнений примет вид

$$\begin{aligned} \sigma_x &= C_{11}\varepsilon_x + C_{12}\varepsilon_y + C_{13}\varepsilon_z; \quad \tau_{xy} = C_{44}\gamma_{xy}; \\ \sigma_y &= C_{21}\varepsilon_x + C_{22}\varepsilon_y + C_{23}\varepsilon_z; \quad \tau_{yz} = C_{55}\gamma_{yz}; \\ \sigma_z &= C_{31}\varepsilon_x + C_{32}\varepsilon_y + C_{33}\varepsilon_z; \quad \tau_{xz} = C_{66}\gamma_{xz}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{xz}$ – нормальные и касательные напряжения; C_{ij} – постоянные коэффициенты упругости (для грунтов – коэффициенты деформации); $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{xz}$ – относительные осевые и сдвиговые деформации. Такой материал называется *ортотропным*.

Обычно при исследованиях грунтов определяют традиционные механические постоянные: модули упругости по направлениям, совпадающим с плоскостями изотропии; коэффициенты Пуассона, характеризующие деформации в плоскости изотропии при сжатии в этой же плоскости и при сжатии в направлении нормальном к этой плоскости изотропии; модули сдвига в плоскостях изотропии нормальных к другим плоскостям изотропии. А для расчетов используют постоянные коэффициенты упругости C_{ij} , которые вычисляют через эти постоянные. Например, в работе [1]:

$$C_{11} = \frac{EE' - E^2\mu'^2}{(1 + \mu)(E' - E'\mu - 2E\mu'^2)}; \quad C_{13} = \frac{EE'\mu'}{E' - E'\mu - 2E\mu'^2};$$

$$C_{33} = \frac{E'^2 - E'^2\mu}{E' - E'\mu - 2E\mu'^2}.$$

Механические свойства грунтов определяются деформационными характеристиками, относящимися к общей деформации грунта. Известные методы определения деформационных характеристик, как, например, в работах [2, 3], заключаются в следующем: модули деформации определяются при испытании на сжатие в стабилометре компрессорного типа цилиндрических образцов с осями, совпадающими с плоскостями изотропии; коэффициенты Пуассона определяют при испытании цилиндрических образцов на одноосное сжатие вдоль плоскостей изотропии и нормально к ним с измерением осевых и поперечных деформаций; модули сдвига определяют при кручении цилиндрических образцов, оси которых совпадают с плоскостями изотропии.

Недостатком этих методов является большое количество испытаний при определении деформационных характеристик данного грунта и проведение испытаний в разных приборах.

В соответствии с методикой работы [4] определяют не традиционные механические постоянные, а коэффициенты C_{ij} , непосредственно связывающие напряжения и упругие деформации.

Для определения постоянных коэффициентов упругости ортотропного грунта проводятся испытания шести образцов в одном приборе с независимо регулируемые главными напряжениями [5].

При определении коэффициентов C_{11}, C_{12} и C_{13} один образец грунта испытывается на осевое сжатие в направлении оси x , при ограничении деформаций в направлении осей y и z , то есть $\varepsilon_y = \varepsilon_z = 0$ (рисунок 1).

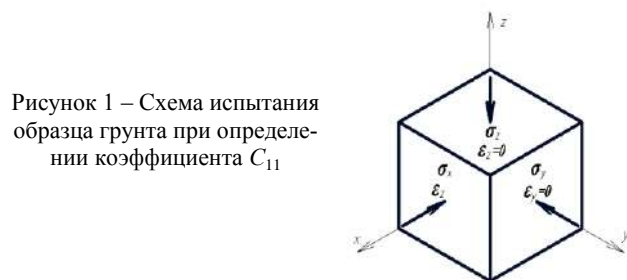


Рисунок 1 – Схема испытания образца грунта при определении коэффициента C_{11}

Уравнения (1) в этом случае будут иметь вид

$$\sigma_x = C_{11}\varepsilon_x; \quad \sigma_y = C_{21}\varepsilon_x; \quad \sigma_z = C_{31}\varepsilon_x. \quad (2)$$

Образец нагружается до напряжений $\sigma_x = \sigma_x'$, измеряются напряжения σ_z' и σ_y' и деформации ε_x . После этого образец разгружается до напряжений и $\sigma_x = 0$, измеряются напряжения σ_z и σ_y , полные деформации ε_x и остаточные деформации ε_{xp} . По полным и остаточным деформациям вычисляются упругие осевые деформации $\varepsilon_{xe} = \varepsilon_x - \varepsilon_{xp}$. Тогда $C_{11} = (\sigma_x' - \sigma_x) / \varepsilon_{xe}$, $C_{21} = (\sigma_y' - \sigma_y) / \varepsilon_{xe}$, $C_{31} = (\sigma_z' - \sigma_z) / \varepsilon_{xe}$.

Аналогичными испытаниями второго и третьего образцов ортотропного грунта при нагружении по оси y и ограничении деформаций по осям x и z , и при нагружении по оси z и ограничении деформаций по осям x и y определяем соответственно постоянные коэффициенты упругости C_{12} , C_{22} , C_{32} и C_{13} , C_{23} и C_{33} .

Учитывая, что $C_{12} = C_{21}$, $C_{13} = C_{31}$, $C_{23} = C_{32}$, мы по испытанию трех образцов определяем шесть постоянных коэффициентов упругости.

Для определения коэффициента C_{44} , четвертый образец вырезается и помещается в прибор таким образом, чтобы угол наклона плоскости изотропии по оси z к направлению действия напряжений σ_x и σ_y был 45° (рисунок 2).

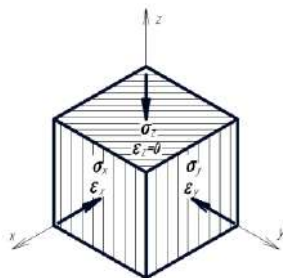


Рисунок 2 – Схема расположения образца в приборе при определении коэффициента C_{44}

Образец нагружается по девиаторической траектории в плоскости xoy , ортогональной плоскости изотропии по оси z , при этом деформации в направлении оси z ограничиваются. Производится равномерное сжатие образца напряжениями $\sigma_x' = \sigma_y'$. Затем напряжение по оси x увеличиваются с постоянным приращением $\Delta\sigma_x$, а напряжения по оси y уменьшаются с такой же величиной приращения $\Delta\sigma_x = \Delta\sigma_y$ до уровня напряжений σ_x'' и σ_y'' , после чего образец разгружается до напряжений $\sigma_z' = \sigma_x' = \sigma_y'$.

Напряженно-деформированное состояние образца приведено на рисунке 3.

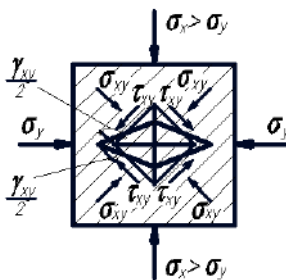


Рисунок 3 – Напряженно-деформированное состояние образца при определении коэффициента C_{44}

Измеряются полные деформации ε_x и ε_y при напряжениях σ_x'' и σ_y'' и остаточные деформации после разгрузки до $\sigma_x' = \sigma_y'$: ε_{xp} и ε_{yp} . По полным и остаточным деформациям вычисляются упругие осевые деформации

$\varepsilon_{ye} = \varepsilon_y - \varepsilon_{yp}$ и $\varepsilon_{xe} = \varepsilon_x - \varepsilon_{xp}$. Коэффициент упругости C_{44} определяется из отношения касательных напряжений τ_{xy} , определенных на площадках с максимальными касательными напряжениями $\tau_{xy} = [(\sigma_y'' - \sigma_y') - (\sigma_x'' - \sigma_x')] / 2$ и упругих сдвиговых деформаций этих площадок $\gamma_{xye} = \varepsilon_{ye} - \varepsilon_{xe} / C_{44} = \tau_{xy} / \gamma_{xye}$.

При определении коэффициента C_{55} , пятый образец вырезается и помещается в прибор таким образом, чтобы угол наклона плоскости изотропии по оси x к направлению действия напряжений σ_y и σ_z был 45° . Образец нагружается по девиаторической траектории в плоскости xoz , ортогональной плоскости изотропии по оси y , при этом деформации в направлении оси x ограничиваются. Шестой образец для определения коэффициента C_{66} вырезается и помещается в прибор таким образом, чтобы угол наклона плоскости изотропии по оси y к направлению действия напряжений σ_x и σ_z был 45° . Образец нагружается по девиаторической траектории в плоскости xoz , ортогональной плоскости изотропии по оси y , при этом деформации в направлении оси y ограничиваются. Нагружение и разгрузка образцов, измерение деформаций и определение максимальных касательных напряжений и сдвиговых деформаций производится аналогично испытанию четвертого образца, а коэффициенты упругости определяются соответственно по формулам $C_{55} = \tau_{yz} / \gamma_{yz e}$ и $C_{66} = \tau_{xz} / \gamma_{xz e}$.

Предлагаемая методика повышает точность определения постоянных коэффициентов упругости ортотропного материала за счет меньшего количества испытываемых образцов (по шести образцам определяются девять постоянных коэффициентов упругости), а также за счет проведения всех испытаний в одном приборе.

Приведенную методику можно использовать при определении, как коэффициентов упругости, так и коэффициентов деформации, связывающих напряжения и полные деформации.

Список литературы

- 1 **Винокуров, Е. Ф.** Строительство на пойменно-намывных основаниях / Е. Ф. Винокуров, А. С. Карамышев. – Минск : Выш. шк., 1980. – 206 с.
- 2 **Кузьмицкий, В. А.** К вопросу об определении деформационных характеристик анизотропных грунтов / В. А. Кузьмицкий // Строительные конструкции и теория сооружений. Основания, фундаменты и механика грунтов. Вып. 2. – Минск : Выш. шк., 1973. – С. 243–251.
- 3 **Писаненко, В. П.** Исследование коэффициентов Пуассона моноотропных глинистых грунтов / В. П. Писаненко // Труды НИИЖТа. – Вып. 180, 1977. – С. 74–79.
- 4 Способ определения коэффициентов упругости трансверсально-изотропного грунта / пат. № 5618, Респ. Беларусь / В. В. Талецкий.
- 5 Прибор для исследования свойств грунтов : а. с. № 302665 СССР, МКИ G01n 33/24 / А. Л. Крыжановский, Э. И. Воронцов, А. А. Музафаров, Б. Л. Морозов. – № 1409204/29-14; заявл. 02.03.70; опубл. Бюл. № 15 // Открытия. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки. – 1971. – № 15. – С. 162.

Получено 16.10.2017

V. V. Taletski. The method of determining the constant coefficients of elasticity of orthotropic soils.

It is proposed to determine the conventional mechanical characteristics of orthotropic soils (elastic moduli, shear moduli and Poisson's ratios) and the constant coefficients of elasticity, directly linking the relative strain and stress in the generalized Hooke's law. All tests are performed in a single device with independently adjustable principal stresses. Increases the accuracy of determining the constant coefficients of elasticity by reducing the number of test specimens and all tests in a single instrument.

УДК 624.01/04

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

ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ БЕТОНОВ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ И КОНСТРУКЦИЯХ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЙ

Приведены результаты исследований применимости бетонов различных классов по прочности для разных эксплуатационных условий с учетом процессов карбонизации бетона и ее влияния на развитие коррозионных процессов в стальной арматуре. Показано, что при назначении в нормативных документах минимального класса бетона по прочности для планируемых сроков и условий эксплуатации необходимо учитывать граничные условия по карбонизации бетона и толщину защитного слоя бетона.

Введение. Основным процессом нейтрализации бетона железобетонных элементов (ЖБЭ) и конструкций (ЖБК) в различных атмосферных условиях, вызывающим его структурные изменения, снижая защитные свойства по отношению к стальной арматуре, является карбонизация. Она создает условия для возникновения и развития коррозии стальной арматуры, приводя со временем к снижению несущей способности ЖБЭ (ЖБК) и созданию аварийных ситуаций.

Агрессивность эксплуатационных сред характеризуется не только постоянным содержанием в них углекислого газа воздуха различных концентраций. Так, для основных эксплуатационных условий агрессивность воздушных сред определяется следующими факторами:

– сельскохозяйственные здания: концентрация CO_2 – 0,1–1,0 %; относительная влажность – до 100 %; положительная температура в помещениях в течение всего года; наличие зон с повышенным содержанием CO_2 и влажности; длительные промежутки времени с учетом специфики вентиляции; постоянное длительное воздействие CO_2 и влажности в зимний период;

– общественные здания и промышленные – с неагрессивной эксплуатационной средой: концентрация CO_2 – 0,03–0,12 %; относительная влажность – до 100 %; положительная температура в помещениях в течение всего года;

– открытая атмосфера: концентрация CO_2 – 0,03–1,20 %; относительная влажность – до 100 %; периодический переход температуры через 0 °С; увлажнение атмосферными осадками различной степени интенсивности.

Обуславливая степень агрессивности эксплуатационных сред, вышеприведенные факторы ускоряют либо снижают скорость карбонизации, определяя элементы и конструкции (их участки) либо зоны зданий с обычным течением карбонизации, либо ускоренным.

Основная часть. Для оценки применимости бетонов различных классов по прочности (при обеспечении требуемой долговечности) в соответствующих эксплуатационных условиях исследовали совместно зависимости распределения по сечению бетона степени карбонизации бетона (показателя СК) и щелочности поровой жидкости (показателя pH) образцов бетона, отобранных из ЖБЭ, эксплуатировавшихся различные длительные сроки. Устанавливали взаимосвязь показателей pH и СК и их граничные значения. Максимальные значения карбонатной составляющей (показателя KC_{max}) устанавливали с учетом предельной величины карбонизации (показателя ПВК) и изменения степени гидратации цемента (показателя α).

Показатели KC , KC_{max} , pH, СК и ПВК определяли по методикам [1]. Степень гидратации цемента и его изменение во времени находили по методикам докт. техн. наук, проф. В. В. Бабицкого.

В качестве граничных значений приняты: планируемый срок эксплуатации – 50 лет (СТБ EN 206-1-2011); степень карбонизации бетона – 13 % (pH = 11,8 – граничное значение потери бетоном защитных свойств по отношению к стальной арматуре [2]); СК = 18 % (pH = 11,3 – граничное значение показателя pH, при котором наблюдается начало поверхностной коррозии стальной арматуры в условиях переменной влажности); СК = 26 % (pH = 10,8 – граничное значение показателя pH, при котором развивается критическая коррозия (уменьшение площади поперечного сечения стальной арматуры диаметров $\varnothing \leq 10$ мм более, чем на 25 %)); СК = 36 % (pH = 10,3 – граничное значение изменения окраски цементно-песчаной фракции бетона при использовании фенолфталеинового теста, используемого по современным нормативам для оценки толщины карбонизированного бетона).

Полученные результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Анализ применения рекомендуемых классов бетона по прочности для планируемого срока службы 50 лет

Категория по условиям эксплуатации	Условия эксплуатации (авторские)	Толщина защитного слоя, мм	Рекомендуемый минимальный класс бетона по прочности на сжатие		
			СТБ EN 206-1-2011	СНБ 5.03.01-02	Авторский
СК = 13 %; pH = 11,8					
XC1	ОПЗ О	10	$C^{20}/_{25}$	$C^{12}/_{15}$	$\gg C^{30}/_{37}$
		15			$\gg C^{30}/_{37}$
		20			$\gg C^{30}/_{37}$
		25			$\gg C^{30}/_{37}$
XC2	А О	10	$C^{25}/_{30}$	$C^{16}/_{20}$	$\gg C^{30}/_{37}$
		15			$\gg C^{30}/_{37}$
		20			$\gg C^{30}/_{37}$
		25			$\gg C^{30}/_{37}$

Окончание таблицы 1

Категория по условиям эксплуатации	Условия эксплуатации (авторские)	Толщина защитного слоя, мм	Рекомендуемый минимальный класс бетона по прочности на сжатие		
			СТБ EN 206-1-2009	СНБ 5.03.01-02	Авторский
СК = 13 %; pH = 11,8					
XC3	ОПЗ У	10	C ³⁰ / ₃₇	C ²⁰ / ₂₅	>> C ³⁰ / ₃₇
		15			>> C ³⁰ / ₃₇
		20			>> C ³⁰ / ₃₇
		25			>> C ³⁰ / ₃₇
XC4	А У	10	C ³⁰ / ₃₇	C ²⁵ / ₃₀	>> C ³⁰ / ₃₇
		15			>> C ³⁰ / ₃₇
		20			>> C ³⁰ / ₃₇
		25			>> C ³⁰ / ₃₇
СК = 18 %; pH = 11,3					
XC1	ОПЗ О	10	C ²⁰ / ₂₅	C ¹² / ₁₅	C ³⁰ / ₃₇
		15			C ²⁵ / ₃₀
		20			C ¹⁸ / _{22,5}
		25			C ¹⁶ / ₂₀
XC2	А О	10	C ²⁵ / ₃₀	C ¹⁶ / ₂₀	>> C ³⁰ / ₃₇
		15			>> C ³⁰ / ₃₇
		20			C ³⁰ / ₃₇
		25			C ²⁰ / ₂₅
XC3	ОПЗ У	10	C ³⁰ / ₃₇	C ²⁰ / ₂₅	>> C ³⁰ / ₃₇
		15			>> C ³⁰ / ₃₇
		20			> C ³⁰ / ₃₇
		25			C ²² / _{27,5}
XC4	А У	10	C ³⁰ / ₃₇	C ²⁵ / ₃₀	>> C ³⁰ / ₃₇
		15			>> C ³⁰ / ₃₇
		20			> C ³⁰ / ₃₇
		25			C ²⁵ / ₃₀
СК = 26 %; pH = 10,8					
XC1	ОПЗ О	10	C ²⁰ / ₂₅	C ¹² / ₁₅	C ²⁰ / ₂₅
		15			C ¹⁶ / ₂₀
		20			C ¹² / ₁₅
		25			C ¹² / ₁₅
XC2	А О	10	C ²⁵ / ₃₀	C ¹⁶ / ₂₀	> C ³⁰ / ₃₇
		15			C ²⁵ / ₃₀
		20			C ¹⁶ / ₂₀
		25			C ¹² / ₁₅
XC3	ОПЗ У	10	C ³⁰ / ₃₇	C ²⁰ / ₂₅	>> C ³⁰ / ₃₇
		15			C ²⁸ / ₃₅
		20			C ¹⁸ / _{22,5}
		25			C ¹² / ₁₅
XC4	А У	10	C ³⁰ / ₃₇	C ²⁵ / ₃₀	>> C ³⁰ / ₃₇
		15			C ³⁰ / ₃₇
		20			C ¹⁸ / _{22,5}
		25			C ¹⁶ / ₂₀
СК = 36 %; pH = 10,3					
XC1	ОПЗ О	10	C ²⁰ / ₂₅	C ¹² / ₁₅	C ¹⁶ / ₂₀
		15			C ¹² / ₁₅
		20			C ¹² / ₁₅
		25			C ¹² / ₁₅
XC2	А О	10	C ²⁵ / ₃₀	C ¹⁶ / ₂₀	C ²⁵ / ₃₀
		15			C ¹⁶ / ₂₀
		20			C ¹² / ₁₅
		25			C ¹² / ₁₅
XC3	ОПЗ У	10	C ³⁰ / ₃₇	C ²⁰ / ₂₅	C ²⁸ / ₃₅
		15			C ¹⁸ / _{22,5}
		20			C ¹² / ₁₅
		25			C ¹² / ₁₅
XC4	А У	10	C ³⁰ / ₃₇	C ²⁵ / ₃₀	C ³⁰ / ₃₇
		15			C ¹⁸ / _{22,5}
		20			C ¹⁶ / ₂₀
		25			C ¹² / ₁₅

Примечание – ОПЗ О – условия зданий общественных и промышленных – с неагрессивной эксплуатационной средой, область обычной карбонизации; А О – условия открытой атмосферы, область обычной карбонизации; ОПЗ У – условия общественных зданий и промышленных – с неагрессивной эксплуатационной средой, область ускоренной карбонизации; А У – условия открытой атмосферы, область ускоренной карбонизации.

Заключение. Выполненные исследования показывают, что в зависимости от принятых граничных условий по степени карбонизации значительно отличаются для одних эксплуатационных условий, минимально необходимые классы бетона по прочности на сжатие. Кроме того, назначение проектного класса бетона по прочности будет в значительной степени зависеть от рассчитанной (принятой) толщины защитного слоя бетона, либо прогнозируемая долговечность существующих ЖБЭ и ЖБК – от фактического значения толщины защитного слоя бетона.

На сегодняшний день в нормативных документах как

Получено 11.10.2017

A. A. Vasilyev. Estimation of applicability of concretes in reinforce-concrete elements and constructions for different operating terms.

Results over of researches of applicability of concretes of different classes are brought on durability for different operating terms taking into account the processes of carbonating of concrete and her influence on development of corrosive processes in a gagers. It is shown that at setting in the normative documents of minimum class of concrete on durability for the planned terms and external environments, it is necessary to take into account border terms for carbonating of concrete and thickness of protective layer of concrete.

Европейских, так и Республики Беларусь, принято упрощенное назначение минимальных классов бетона по прочности для категорий по условиям эксплуатации ХС1–ХС4.

Список литературы

1 **Васильев, А. А.** Расчетно-экспериментальная модель карбонизации бетона : [монография] / А. А. Васильев ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2016. – 263 с.

2 **Бабушкин, В. И.** Термодинамика силикатов / В. И. Бабушкин, Г. М. Матвеев, О. П. Мчедлов-Петросян ; под ред. О. П. Мчедлова-Петросяна. – 4-е изд.– М. : Стройиздат, 1986. – 408 с.

УДК 539.3

А. А. ПОДДУБНЫЙ, кандидат физико-математических наук, А. В. ЯРОВАЯ, доктор физико-математических наук
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЯ ТРЕХСЛОЙНОЙ БАЛКИ, ЧАСТИЧНО ОПЕРТОЙ НА УПРУГОЕ ОСНОВАНИЕ

Рассмотрена методика проведения испытания трехслойной балки, частично опертой на упругое основание. Представлен алгоритм проведения эксперимента. Разобраны основные мероприятия, необходимые для качественного и точного испытания конструкций. Определено, что числовые значения прогибов, полученные теоретически, достаточно хорошо согласуются с данными проведенного испытания, что подтверждает точность и достоверность разработанной методики расчета трехслойной балки при ее частичном опирании на упругое основание.

Введение. Целью методики проведения испытания трехслойной балки, частично опертой на упругое основание, является проверка теории расчета.

Для реализации указанной цели необходимо выполнить следующие основные мероприятия:

- изготовить образец трехслойной балки;
- изготовить образец упругого основания;
- провести испытание упругого основания и образца;
- обработать результаты испытания, сравнить с расчетными.

Изготовление образца трехслойной балки и упругого основания. Изготавливается макет трехслойной балки (фанера – полистирол – фанера (рисунок 1, а), сталь – полистирол – сталь (рисунок 1, б) и т. д.). Наглядность макета способствует быстрому восприятию, осмысливанию и прочному закреплению научного и учебного материала, проведению практических экспериментов.

а)



б)

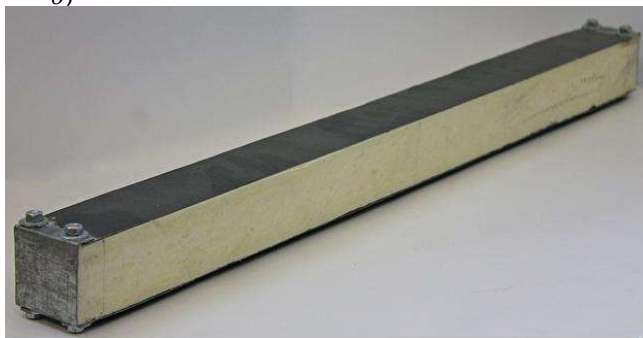


Рисунок 1 – Макет трехслойной балки: фанера – полистирол – фанера (а); сталь – полистирол – сталь (б)

Трехслойная балка выполнена в виде трехслойного пакета, состоящего из склеенных в горизонтальной плоскости трех слоев, тонких прочных наружных листов из фанеры (стали) и внутреннего толстого более легкого заполнителя – полистирола, разносящего несущие слои на заданное расстояние и обеспечивающего их совместную работу. На торцах балки закреплены болтами П-образные торцевые усиления из стали.

Таким образом, предлагаемый макет позволяет достичь положительного эффекта, заключающегося в совершенствовании учебного процесса, научных исследований и экономии денежных средств на проведение исследований в других организациях.

Фактические размеры образца устанавливаются перед испытанием.

Аналогично изготавливаются образцы упругого основания.

Физико-механические свойства материалов берутся из данных изготовителя или определяются опытным путем.

Изготовленные макеты необходимо оформить как рационализаторские предложения и в последующем использовать в научном и учебном процессе [1, 2].

Проведение испытания упругого основания и макетов трехслойных балок. Испытание макетов необходимо проводить в аккредитованной лаборатории с использованием поверенных инструментов. Загружение образцов выполняется ступенчатой нагрузкой. После полного нагружения производится разгрузка в обратном порядке. Прогибы макета при испытании измеряются с помощью индикатора часового типа с ценой деления 0,01 мм. Для более достоверного снятия показаний прогибов под образец устанавливается не менее трех индикаторов часового типа.

Отчеты по приборам снимаются перед и после каждой ступени нагружения (разгрузки). Нагружение (разгрузка) повторяется не менее трех раз. Опытные значения прогибов заносятся в журнал испытаний.

Экспериментальное определение перемещений (балки) на двух опорах. Эксперимент был проведен в лаборатории при кафедре «Строительная механика» УО «БелГУТ». Испытывалась трехслойная балка прямоугольного поперечного сечения с жесткими диафрагмами на торцах, несущие слои которой выполнены из семислойной березовой фанеры с модулями упругости $E_1 = 6000$ МПа, $G_1 = 750$ МПа, заполнитель – из пено-

полистирола, для которого $E_2 = 15$ МПа, $G_2 = 5,14$ МПа. Геометрические размеры балки следующие: длина (пролет) $l = 640$ мм, ширина $b_0 = 60$ мм, толщины слоев: $h_1 = h_2 = 7$ мм, $h_3 = 50$ мм.

Была испытана трехслойная балка, установленная на шарнирные опоры. На рисунке 2 изображены прогибы трехслойной балки длиной $l = 0,64$ м под действием распределенной по всей длине нагрузки, приложенной к балке с помощью 13 грузов по 5 кг.

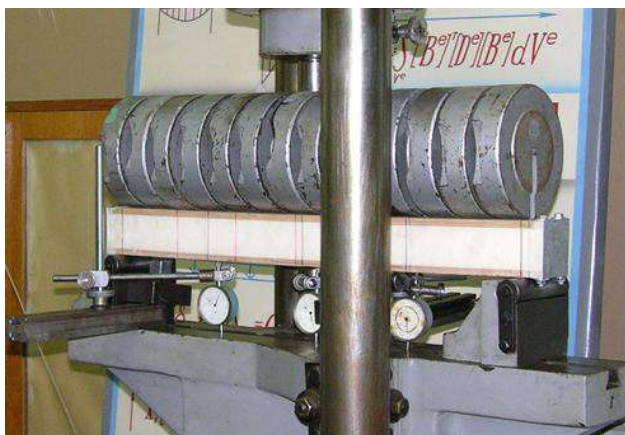


Рисунок 2 – Измерение прогибов трехслойной балки

Экспериментальное определение жесткости упругого основания. В качестве упругого основания была принята резина толщиной 42 мм. Для определения жесткости упругого основания была приложена сжимающая нагрузка F и определены вертикальные перемещения y (рисунк 3). Далее найдено давление p , Па, делением величины сжимающей силы на площадь подошвы пресса, а затем – коэффициент постели $k = p/y$. Испытания проводились ступенями. В результате получено среднее значение жесткости упругого основания (коэффициента постели) $k = 213$ МН/м³.



Рисунок 3 – Экспериментальное определение жесткости упругого основания

Экспериментальное определение перемещений балки, частично опертой на упругое основание. При проведении эксперимента интенсивность распределенной нагрузки, модули упругости материалов и толщины слоев в трехслойном пакете фанера – пенополисти-

рол – фанера принимались такими же, что и в проведенном эксперименте.

На рисунке 4 изображены прогибы трехслойной балки, частично опертой на упругое основание, под действием нагрузки, равномерно распределенной по всей длине и приложенной к балке с помощью 13 грузов по 5 кг.

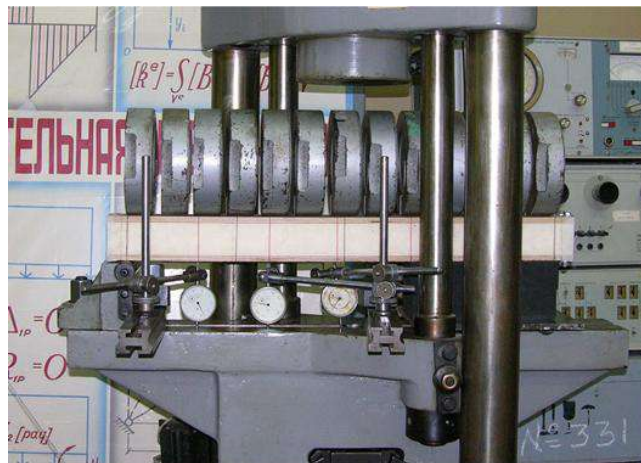


Рисунок 4 – Измерение прогибов частично опертой трехслойной балки

Обработка результатов испытания и сравнение их с расчетными. Разработанные собственные математические модели [3, 4] и компьютерные программы, написанные в программной среде Mathcad, позволяют определять перемещения, деформации и напряжения в трехслойных конструкциях с различными геометрическими и механическими характеристиками слоев, жестком и шарнирном закреплении или без него, наличии и отсутствии диафрагм на торцах, при различных видах нагрузок, жесткости упругого основания, размерах участков опирания, оценивать прочность и жесткость конструкций [5, 6]. Результаты, полученные по собственным методикам, обязательно необходимо сравнивать с результатами эксперимента и с методиками других авторов.

Теоретическое и экспериментальное определение перемещений балки, установленной на шарнирные опоры. Составляется расчетная схема балки и графики прогибов (рисунк 5).

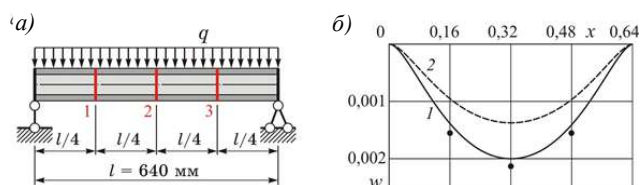


Рисунок 5 – Расчетная схема балки при равномерно распределенной нагрузке (а); графики прогибов (б)

Наибольший прогиб w_{max} в точке 2 при нагрузке, равномерно распределенной по всей длине балки, составил: по методике, разработанной авторами, – 2,0 мм; по методике В. Н. Кобелева с соавторами [7] – 1,4 мм; по результатам эксперимента, проведенного авторами, – 2,1 мм. Прогибы w_{max} в точках 1 и 3 составили: по методике авторов – 1,4 мм; по методике В. Н. Кобелева с соавторами – 0,95 мм, по результатам собственного

эксперимента – 1,5 мм. Числовые значения прогибов, полученных по разработанной методике, лучше согласуются с данными проведенного испытания балки, чем результаты, рассчитанные по методике В. Н. Кобелева. Погрешность в первом случае составляет не более 8 %, во втором – 45 %. Также экспериментально установлено, что при разгрузке балки сохраняются остаточные прогибы, которые исчезают через некоторое время.

Теоретическое и экспериментальное определение перемещений балки, частично опертой на упругое основание. Составляется расчетная схема балки и графики прогибов (рисунок 6).

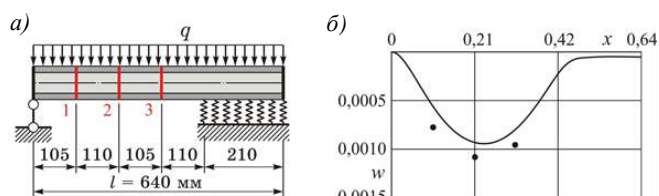


Рисунок 6 – Расчетная схема балки при равномерно распределенной нагрузке (а); графики прогибов (б)

Наибольший прогиб w_{\max} в точке 2 при нагрузке, равномерно распределенной по всей длине балки, составил: по методике, разработанной авторами, – 0,93 мм; по результатам собственного эксперимента – 1,15 мм. Прогибы w_{\max} в точке 1 составили: по методике, разработанной авторами, – 0,6 мм; по результатам собственного эксперимента – 0,74 мм. Прогибы w_{\max} в точке 3 составили: по методике авторов – 0,78 мм; по результатам собственного эксперимента – 0,96 мм. Погрешность составляет не более 19 %.

Выводы. Методика проведения испытания трехслойной балки, частично опертой на упругое основание, позволяет успешно определять прогибы в конструкциях. Проверяют числовые значения прогибов, полученные по различным методикам, и сравнивать с опытными результатами. Проведенный на кафедре «Строительная механика» эксперимент показал, что числовые значения прогибов, полученные теоретически, достаточно хорошо согласуются с данными проведенного испытания. Это подтверждает точность и достоверность разработанной методики расчета трехслойной балки при ее ча-

стичном опирании на упругое основание. Некоторые расхождения результатов показывают на необходимость проведения дальнейших теоретических и экспериментальных исследований, направленных на уточнение расчетных зависимостей для перемещений и напряжений в трехслойных конструкциях, так как во многих случаях они являются элементами сложных и ответственных сооружений.

Работа выполнена при поддержке БРФФИ (проект T16P-010).

Список литературы

- 1 Макет трехслойной балки фанера – полистирол – фанера: удостоверение № 116 на рационализаторское предложение / А. А. Поддубный, А. В. Яровая; заявитель Белорус. гос. ун-т трансп.; зарегистр. 20.11.2015.
- 2 Макет трехслойной балки сталь – полистирол – сталь : удостоверение № 117 на рационализаторское предложение / А. А. Поддубный, А. В. Яровая; заявитель Белорус. гос. ун-т трансп.; зарегистр. 20.11.2015.
- 3 **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.
- 4 **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.
- 5 Напряженно-деформированное состояние трехслойной балки, частично опертой на упругое основание : регистр. свидетельство № 5301403768 от 03 марта 2014 г. / А. В. Яровая, А. А. Поддубный ; Гос. регистр информационных ресурсов НИРУП ИППС. – 2014.
- 6 Напряженно-деформированное состояние трехслойной пластины, частично опертой на упругое основание, при цилиндрическом изгибе : регистр. свидетельство № 5301403769 от 03 марта 2014 г. / А. В. Яровая, А. А. Поддубный; Гос. регистр информ. ресурсов НИРУП ИППС. – 2014.
- 7 **Кобелев, В. Н.** Расчет трехслойных конструкций / В. Н. Кобелев, Л. М. Коварский, С. И. Тимофеев. – М. : Машиностроение, 1984. – 303 с.

Получено 13.10.2017

A. A. Poddubny, A. V. Yarovaya. Methods of testing sandwich beams partially supported on elastic foundation.

The method of testing of sandwich beams partially supported on elastic foundation. The algorithm of the experiment. Disassembled the main activities necessary for quality and accurate test designs. Determined that the numerical values of the deflection obtained theoretically are in good agreement with the data of the tests, which confirms the accuracy and reliability of the developed method of calculation of sandwich beams with partial resting on elastic foundation.

ЗОНЫ КОНВЕКЦИИ И ДИФФУЗИИ В КРИВЫХ ПРОНИКНОВЕНИЯ ХЛОРИДОВ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Рассмотрены зоны конвекции и диффузии хлоридов при проникновении хлоридов в железобетонную конструкцию. Многие экспериментальные кривые проникновения хлоридов имеют зону конвекции во внешних 10 мм, где сходжение между кривой и функцией ошибки плохое. Показано, что размер зоны конвекции составляет 5–18 мм и больше для пролетных строений по сравнению с колоннами.

Наибольшую опасность для железобетонных конструкций транспортных сооружений представляют хлориды, входящие в состав солей-антиобледенителей, применяющихся на дорогах в зимнее время.

Проникновение хлоридов в железобетонные конструкции управляется множеством химических и физических процессов: диффузия ионов, капиллярное всасывание, конвекция, а также химическое и физическое связывание хлоридов.

Транспортировка хлоридов в бетоне происходит преимущественно тремя различными способами [1]: проникновение растворов солей, капиллярное всасывание и перемещение свободных ионов хлоридов. Все эти процессы возможны при определенном уровне влажности поровой системы бетона. Доминирующим является перемещение свободных ионов хлора, которое зависит, например, от пористости и влажности.

При проникновении хлоридов в бетон можно выделить зону конвекции хлоридов в поверхностном слое бетона и зону диффузии хлоридов в более глубоких слоях. Глубина зоны конвекции зависит от влажности цементного камня.

Содержание хлоридов в бетоне определяют путем аналитического решения уравнения диффузии, при некоторых аппроксимациях принимается, что диффузия происходит в полубесконечном материале при постоянном коэффициенте диффузии, с постоянными поверхностными условиями:

$$C_x = C_s \left[1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{D_{F2}t}} \right], \quad (1)$$

где C_x – содержание хлоридов на некоторой глубине, % от веса цемента; C_s – поверхностное содержание хлоридов, % от веса цемента; erf – функция ошибок Гаусса; x – глубина проникновения хлоридов, м; t – время воздействия, с; D_{F2} – коэффициент диффузии хлоридов, $\text{м}^2/\text{с}$.

Для оценки экспериментальных кривых проникновения хлоридов может использоваться решение второго закона Фика с учетом интеграла вероятности ошибок. По экспериментальным кривым проникновения хлоридов можно определить:

D_{F2} – фактический коэффициент диффузии, который описывает форму кривой проникновения хлоридов. Коэффициент диффузии отражает скорость проникновения хлоридов в бетон;

C_{sa} – фактическое поверхностное содержание хлоридов, которое описывает граничные условия для кривой проникновения хлоридов. Поверхностное содержание

хлоридов отражает величину потенциала движения в процессе диффузии.

Однако обследования показывают, что не всегда максимальное содержание хлоридов бывает в наружном слое, а находится на некоторой глубине (обычно 5–10 мм). Зачастую профили проникновения хлоридов имеют зону конвекции во внешних 5–10 мм. Это связано с условиями эксплуатации [2]. При омывании бетона дождями хлориды могут удаляться из наружного слоя дождевой водой. При испарении хлоридных растворов из бетона зона испарения воды может находиться не на поверхности, а на некоторой глубине. В этом случае слой с максимальным содержанием хлоридов будет располагаться не на поверхности, а несколько глубже. При карбонизации поверхностного слоя разрушаются оксихлориды и гидроксиды алюмината, понижается сорбция хлоридов карбонизированными продуктами цементного камня [2]. Глубина зоны конвекции зависит от качества бетона, условий воздействия и времени осуществления выборки.

Поэтому при помощи D_{F2} и C_{sa} не всегда можно корректно описать проникновение хлоридов.

В [3] предложено для описания формы кривой использовать четыре параметра вместо двух. Зона конвекции описана глубиной конвекции, x_c , которая определена как глубина, на которой профиль проникновения хлоридов не соответствует функции ошибки. Зона диффузии описана фактическим коэффициентом диффузии D_{F2} и поверхностным содержанием хлоридов C_{sc} (рисунок 1).

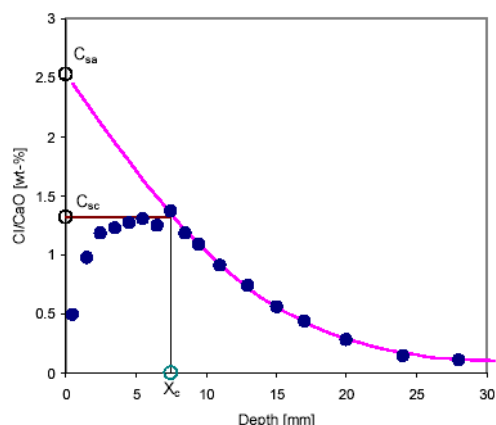


Рисунок 1 – Зоны конвекции и диффузии в кривых проникновения хлоридов в железобетон [3]

диффузионные свойства цементного камня зависят от времени, то есть параметры, полученные по кривым проникновения хлоридов, изменяются со временем. Таким образом, фактический коэффициент диффузии

D_{F2} уменьшается со временем, а фактическое поверхностное содержание хлоридов C_{sa} увеличивается со временем. На глубине зоны конвекции x_c поверхностное содержание хлоридов в зоне диффузии C_{sc} также увеличивается со временем.

В работе [4] даны результаты обследования семи шоссейных мостов из бетона марки М400 с содержанием цемента 300–360 кг/м³ и В/Ц 0,45–0,50. Возраст конструкций составляет 25–35 лет. Полученные результаты определения содержания хлоридов показаны на рисунке 2.

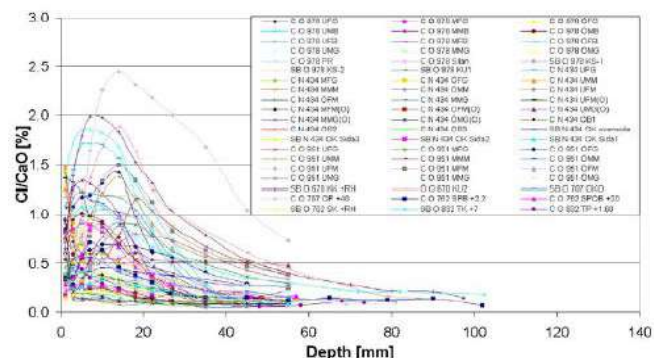


Рисунок 2 – Профили проникновения хлоридов: первый индекс показывает кривую для колонн (С), стороны балки (SB) или другой части конструкции (О); второй – для какого моста построены кривые; третий – название кривой

Кривые проникновения хлоридов для различных мостов были оценены решением второго закона Фика с учетом интеграла вероятности ошибок. Кривая была построена таким образом, что коэффициент корреляции, то есть параметр, который описывает, насколько хорошо кривая соответствует функции ошибки, превышает 0,980. Также определялась внешняя зона конвекции, на которой кривая отклоняется от функции ошибки, и внутренняя зона диффузии (таблица 1).

Таблица 1 – Фактические коэффициент диффузии D_{F2} и поверхностное содержание хлоридов C_{sa} , величина зоны конвекции x_c и поверхностное содержание хлоридов для зоны диффузии C_{sc}

Мост	D_{F2} , м ² /с	C_{sa} , Cl/Cao, %	x_c , мм	C_{sc} , Cl/Cao, %
O 670	7.80e-13	2,361	7	1,987
O 670	7.81e-13	2,415	14	1,886
O 762	2.69e-13	0,889	7	0,712
O 762	2.16e-13	1,375	10	0,883
O 762	3.05e-13	1,085	5	0,822
O 832	1.92e-13	0,454	5	0,437
O 832	1.08e-12	1,132	3	1,086
O 707	9.98e-13	0,571	5	0,569
O 707	3.93e-13	0,919	14	0,571
O 978	5.70e-13	1,641	14	0,958
O 978	3.40e-13	1,983	14	1,025
O 978	5.08e-13	2,337	18	1,179
N 434	4.22e-12	0,478	3	0,477
N 434	9.19e-13	0,301	5	0,271
N 434	1.02e-12	0,374	10	0,335

Величина зоны конвекции больше для пролетных конструкций по сравнению с колоннами, т. е. механизмы воздействия хлоридов различны для колонн и пролетных конструкций. Параметры, полученные по кри-

Получено 08.11.2017

A. V. Stepanova. Convection and diffusion zones in chloride penetrations profiles in reinforced concrete structures.

Zones of convection and diffusion of chlorides at penetration of chlorides into a reinforced concrete structures are considered. Many experimental chloride penetrations profiles have a convection zone in external layer of concrete where the fit between the profile and error-function is bad. It is shown that the size of a convection zone is 5–18 mm and larger for flying structures in comparison with columns.

вым проникновения хлоридов, приведены со средними значениями и стандартными отклонениями (SD), в таблицах 2 (D_{F2} и C_{sa}) и 3 (x_c и C_{sc}). D_{F2} описывает форму кривой, C_{sa} описывает потенциал движения хлоридов.

Видно, что больше различий в значениях D_{F2} , C_{sa} , x_c , и C_{sc} между разными мостами, чем между колоннами и пролетными конструкциями одного моста.

Таблица 2 – Средние значения и стандартные отклонения (SD) для параметров D_{F2} и C_{sa} , полученные по кривым проникновения хлоридов для мостов O 978 и N 434

Мост	D_{F2} , м ² /с		C_{sa} , Cl/Cao, %	
	Средний	SD	Среднее	SD
O 978 Колонны	3.34e-13	1.07e-13	1,60	1,17
O 978 Пролетные конструкции	4.73e-13	1.19e-13	1,99	0,35
N 434 Колонны	1.20e-12	1.30e-12	0,41	0,33
N 434 Пролетные конструкции	2.05e-12	1.88e-12	0,38	0,09

Таблица 3 – Средние значения и стандартные отклонения (SD) для параметров x_c и C_{sc} оцененные по кривым проникновения хлоридов для мостов O 978 и N 434

Мост	x_c , мм		C_{sc} , Cl/Cao, %	
	Средние	SD	Средние	SD
O 978 Колонны	6,29	4,23	1,01	0,45
O 978 Пролетные конструкции	15,33	2,31	1,05	0,11
N 434 Колонны	3,12	1,11	0,41	0,31
N 434 Пролетные конструкции	6,00	3,61	0,36	0,11

Выводы. При проникновении хлоридов в железобетонную конструкцию можно выделить две зоны: зону конвекции хлоридов в поверхностном слое бетона и зону диффузии хлоридов в более глубоких слоях. Многие экспериментальные кривые проникновения хлоридов имеют зону конвекции во внешних 10 мм, где схождение между кривой и функцией ошибки плохое. Глубина зоны конвекции зависит от качества бетона, условий воздействия и времени осуществления выборки и колеблется в пределах 5–18 мм.

Для оценки экспериментальных кривых проникновения хлоридов с использованием решения второго закона Фика с учетом интеграла вероятности ошибок необходимо учитывать зону диффузии.

Список литературы

- 1 **Basheer, L.** Assessment of the durability of concrete from its permeation properties / L. Basheer, J. Kropp, D. J. Cleland // Construction and Building Materials. – No. 15. – 2001. – P. 93–103.
- 2 **Розенталь, Н. К.** Коррозионная стойкость цементных бетонов низкой и особо низкой проницаемости : дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.05 / Н. К. Розенталь, НИИЖБ. – М., 2004. – 432 с.
- 3 **Nilsson, L.-O.** Chloride ingress data from field exposure in a Swedish road environment / L.-O. Nilsson, A. Andersen, T. Luping, P. Utgenannt // Department of Buildings Materials, Chalmers University of Technology. – Göteborg, 2000.
- 4 **Lindvall, A.** Chloride ingress data from Danish and Swedish road bridges exposed to splash from de-icing salt / A. Lindvall, A. Andersen, L.-O. Nilsson // Proceedings of 2nd International RILEM Workshop on Testing and Modelling the Chloride Ingress into Concrete. – Paris, 2000. – P. 85–103.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В СИСТЕМЕ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ

Рассмотрены критерии эффективной работы систем водоснабжения промежуточных железнодорожных станций на примере железнодорожной станции «Лисички» Гомельского района. Проведен анализ работы системы водоснабжения, а также качества подаваемой потребителям и абонентам воды.

Показано, что наиболее доступными на современном этапе методами повышения устойчивого водоснабжения промежуточной железнодорожной станции и качества услуги водоснабжения являются модернизация системы водоснабжения с устройством автоматизированных систем управления и установкой приборов учета воды с удаленным съемом показаний, а также установка блочно-модульной станции обезжелезивания воды.

Функционирование железнодорожного транспорта невозможно без эффективной работы инженерной инфраструктуры, где особое место занимают системы водоснабжения. Сокращение использования природных водных ресурсов обеспечивает снижение себестоимости услуги водоснабжения и, как следствие, снижение затрат на оказание услуг по перевозке грузов и пассажиров, а также имеет значительную экологическую составляющую, выраженную в рациональном использовании подземных вод. Помимо этого, водопроводная вода должна быть безопасна в эпидемиологическом отношении, безвредна по химическому составу и соответствовать нормативам [1].

Таким образом, основной целью исследования является выработка актуальных технических мероприятий, которые позволят при сохранении качества подаваемой потребителям и абонентам воды увеличить объемы реализации воды и достичь уменьшения подъема воды из подземных источников, обеспечив при этом снижение затрат на услугу водоснабжения.

Проведен анализ работы системы водоснабжения населенного пункта Лисички Гомельского района, что неотъемлемо связано с устойчивым функционированием промежуточной станции «Лисички».

Промежуточная станция Лисички расположена в Гомельском районе, в 3 км от г. Гомеля. В районе железнодорожной станции располагаются садово-дачные кооперативы (численность постоянно проживающих – около 100 человек), а также селитебная территория, на которой находятся дачный кооператив и жилые дома работников, обслуживающих станцию.

В настоящее время населенный пункт Лисички относится к Улуковскому сельскому исполнительному комитету Гомельского района и интенсивно развивается как рекреационная зона г. Гомеля и Гомельского района, что обеспечивается транспортными связями в регионе. Следует отметить, что в весенне-летний период численность населения увеличивается оценочно в 2 раза (до 200 человек), особенно в выходные и праздничные дни, что связано с отдыхом горожан и отпускным периодом.

Система водоснабжения включает артезианскую скважину, эксплуатируемую с 1974 года, а также тупиковую схему водоснабжения, представляющей собой стальной трубопровод длиной примерно 4,6 км. Систе-

ма водоснабжения обеспечивает водой населенный пункт Лисички и промежуточную станцию «Лисички». Основными потребителями воды являются: железнодорожная станция, а также население поселка, которое использует воду на хозяйственно-питьевые и коммунально-бытовые нужды.

Данная схема водоснабжения является типовой и распространена в большинстве малых населенных пунктов и, соответственно, расположенных вблизи них, промежуточных станций республики и стран СНГ.

Технические характеристики системы водоснабжения представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики системы водоснабжения населенного пункта Лисички

Характеристики	Описание
Тип системы	Объединённая хозяйственно-питьевая и противопожарная
Схема сети	Тупиковая
Длина сети, м	4588
Глубина заложения, м	1,8
Диаметр труб, мм	От 50 до 100
Материал труб	Сталь

Эффективная работа системы водоснабжения для потребителей и абонентов определяется выполнением критериев безаварийности и соответствия качества подаваемой воды нормативным требованиям [1].

Безаварийность.

Безаварийность систем водоснабжения характеризуется возможностью бесперебойного обеспечения потребителей и абонентов водой в необходимом количестве. Основными факторами, влияющими на безаварийную работу систем водоснабжения, являются:

- бесперебойное электроснабжение;
- техническое состояние систем водоснабжения;
- эффективность управления системой водоснабжения (человеческий фактор);
- возможные чрезвычайные ситуации природного и техногенного характера.

Учитывая, что организация, осуществляющая водоснабжение населенного пункта, имеет только косвенную возможность влияния на такие факторы, как бесперебойность электроснабжения и возможные чрезвычайные ситуации природного и техногенного характера, рассмотрим основные причины возникновения аварий-

ных ситуаций в системах водоснабжения: техническое состояние систем водоснабжения, а также эффективность управления системой водоснабжения (человеческий фактор).

Показателем, характеризующим техническое состояние систем водоснабжения, является количество потерь и неучтенных расходов воды. Исходя из анализа структуры потерь и неучтенных расходов воды возможно своевременно предпринять меры по минимизации этого показателя и, как следствие, повышению безаварийности системы водоснабжения с оптимальными капитальными вложениями. При этом следует учитывать, что следствием снижения потерь и неучтенных расходов воды является уменьшение объема подъема воды и (или) увеличение объемов реализации воды. В обоих рассматриваемых случаях неизбежно будет наблюдаться снижение затрат на услугу водоснабжения.

Фактическое усредненное (в период с 2011 по 2015 год) количество реализованной воды в населенном пункте Лисички составляет 70,5 % от объема воды, поднятой из скважины. Определено, что усредненное (в период с 2011 по 2015 год) количество потерь и неучтенных расходов воды в населенном пункте Лисички составляет 19,8 % от объема воды, поднятой из скважины, собственные расходы воды, составляют 9,7 % соответственно. Укрупненная структура потерь и неучтенных расходов воды представлена на рисунке 1.

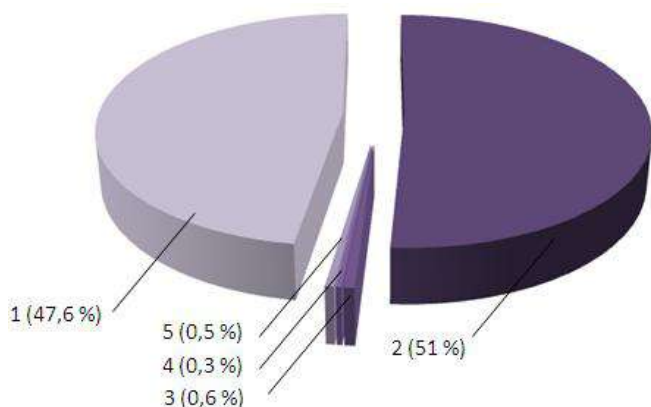


Рисунок 1 – Укрупненная структура нереализованной воды в населенном пункте Лисички:

- 1 – недоучет приборами учета воды; 2 – скрытые утечки;
3 – потери из водоразборных колонок; 4 – потери при ремонте;
5 – противопожарные расходы

Анализ потерь и неучтенных расходов воды [2] показывает, что основными источниками потерь воды являются скрытые утечки (51 %), а также недоучет счетчиками из-за ограниченной чувствительности (47,6 %).

Фактические утечки (физические потери) воды составляют 51,9 % и состоят из скрытых утечек (51 %), потерь из водоразборных колонок (0,6 %) и потерь воды при ремонте (0,3 %).

47,6 % – объем воды, который был поставлен потребителям, но не предъявлен к оплате ввиду разного класса точности приборов учета воды в системе водоснабжения. Данный вид потерь и неучтенных расходов воды можно отнести к коммерческим потерям воды. Количество коммерческих потерь воды не зависит от типа, года

постройки и иных физических параметров системы водоснабжения, а имеет прямую зависимость от количества установленных приборов учета воды, их класса точности и синхронизации (одновременности) съема показаний с этих приборов учета расхода воды.

После детального анализа структуры реализации и потерь и неучтенных расходов воды можно сделать вывод о том, что в целях снижения объема добычи воды необходимо произвести перекладку сети водоснабжения, обеспечив её работу в автоматическом режиме. Данный комплекс мероприятий позволит снизить фактические утечки (физические потери), а также обеспечит более рациональное использование водных ресурсов [3].

Основным наиболее технически доступным мероприятием по снижению коммерческих потерь воды является установка приборов учета воды с удаленным съемом показаний с помощью GSM. Внедрение данных технологий также позволяет производить расчет начислений по оплате услуги водоснабжения в автоматическом режиме.

Переход к работе систем водоснабжения в автоматическом режиме позволяет повысить эффективность управления системами водоснабжения, полностью исключив человеческий фактор [4].

Имеющиеся на рынке программные комплексы управления системами водоснабжения позволяют решать комплекс следующих задач:

- выбирать оптимальный режим подачи воды;
- проводить оптимизацию зонирования и выбирать оптимальные режимы работы насосного оборудования;
- моделировать и планировать отключения трубопроводов и участков сети, с целью оценки и минимизации их последствий (снижение давления у потребителей, ухудшение качества воды в результате изменения потока распределения);
- осуществлять расчет на пропуск противопожарных расходов, а также проводить оценку застоя воды в часы минимального расхода;
- планировать развитие систем водоснабжения;
- осуществлять поиск скрытых утечек воды.

Данные задачи могут быть решены удаленно, посредством GSM через глобальную сеть Интернет с вмешательством человека, либо автоматизированно с учетом предварительно заданных параметров и режимов работы системы водоснабжения.

Соответствие качества подаваемой воды нормативным требованиям.

Приоритетной задачей Государственной программы «Комфортное жилье и благоприятная среда» на 2016–2020 годы является улучшение качества питьевого водоснабжения [5].

Анализ проб воды показывает типичные для Полесского региона загрязнения, присутствующие в артезианской воде. Имеются превышения нормативных показателей по содержанию железа (в 4,8 раза), цветности (в 1,25 раза) и мутности (в 1,4 раза) [1].

Качественный состав подаваемой абонентам и потребителям воды представлен в таблице 2.

Для доведения качества воды, реализуемой населению, целесообразна установка блочно-модульной станции обезжелезивания отечественного изготовления.

Таблица 2 – Показатели качества воды

Показатель	Норматив	Фактическое значение
рН, мг/дм ³	6,00–9,00	7,35
Сухой остаток, мг/дм ³	1000	184
Жесткость (общ), моль/м ³	7,00	3,04
Окисляемость перманганатная, мг/дм ³	5,00	1,80
Железо, мг/дм ³	0,30	1,45
Марганец, мг/дм ³	0,10	–
Запах, балл	2,00	1,00
Привкус, балл	2,00	0
Цветность, град.	20,0	25,00
Мутность, мг/дм ³	1,50	2,10
Хлориды, мг/дм ³	350,00	10,50
Сульфаты, мг/дм ³	500,00	–
Медь, мг/дм ³	1,00	–
Нитраты, мг/дм ³	45,00	–
Мышьяк, мг/дм ³	0,05	–

Блочно-модульная станция обезжелезивания представляет собой транспортируемый контейнер, состоящий из 1–10 модулей, которые соединяются на месте размещения в единый блок.

Преимущества блочно-модульных станций обезжелезивания:

- 100%-ная заводская готовность станции;
- полная автоматизация всех технологических процессов станции;
- высокая компактность;
- системы электроосвещения, электрообогрева, precisely вытяжной вентиляции и другого инженерного обеспечения;
- современный внешний вид и дизайн;
- отсутствие потребности в строительстве капитальных зданий;
- транспортировка в собранном виде;
- минимальный перечень строительно-монтажных работ на месте размещения;

Получено 15.08.2017

R. S. Aleinikov. Ensuring the rational use of water resources in the water system of railway stations.

The criteria for effective operation of water supply systems for intermediate railway stations are considered using the example of the railway station "Lisichki" in the Gomel region. The analysis of the operation of the water supply system, as well as the quality of water supplied to consumers and subscribers, was carried out.

It is shown that the most affordable methods of increasing the sustainable water supply of the intermediate railway station and improving the quality of water supply services are: modernization of the water supply system with the installation of automated control systems and installation of water metering devices with remote collection of readings, and installation of a block-modular water deironing station.

– минимальные сроки ввода станций обезжелезивания в эксплуатацию.

Закключение. Таким образом, безаварийная работа систем водоснабжения может достигаться за счет улучшения технического состояния систем водоснабжения, а также исключения человеческого фактора для их управления.

В свою очередь данная задача может быть достигнута путем модернизации систем водоснабжения с устройством автоматизированных систем управления и установки приборов учета воды с удаленным съемом показаний с помощью GSM.

При этом установка блочно-модульной станции обезжелезивания полностью решит вопрос обеспечения всех групп потребителей и абонентов качественной питьевой водой.

Список литературы

1 СанПиН 10–124 РБ 99. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. – Минск : М-во здравоохранения Респ. Беларусь, 2000. – 132 с.

2 Об утверждении Инструкции по расчету норматива потерь и неучтенных расходов воды из систем коммунального водоснабжения населенных пунктов Республики Беларусь : постановление М-ва жилищно-коммунального хозяйства Респ. Беларусь от 31 августа 2005 г. № 43. – Минск, 2005.

3 **Логвина, О. А.** Профилактика вторичного загрязнения воды / О. А. Логвина, С. Ю. Ефремова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. технол. ун-та, 2013. – С. 226–230.

4 **Невзорова, А. Б.** Основы автоматизации систем водоснабжения и водоотведения : пособие / А. Б. Невзорова. – Гомель: БелГУТ, 2005. – 115 с.

5 Об утверждении Государственной программы «Комфортное жилье и благоприятная среда» на 2016–2020 годы : постановление Совета Министров Республики Беларусь от 21.04.2016 г. № 326. – Минск, 2016.

УДК 624.01/.04

А. В. БАРАНЧИК, магистр технических наук, научный сотрудник, В. Г. БАРАНЧИК, заведующий ЦНИИСК БНТУ, г. Минск

ДЕФЕКТЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ ИЗ МИНЕРАЛОВАТНЫХ ПЛИТ

Трехслойные панели с минераловатным утеплителем являются самонесущими конструкциями и применяются для строительства зданий любого назначения – от малоэтажных жилых домов до крупных торговых центров, складских помещений и административных зданий. Они получили широкое распространение благодаря отличным теплотехническим характеристикам, устойчивости к воздействию окружающей среды, малому весу и высоким темпам монтажа. Поэтому качество изготовления сэндвич-панелей является важным фактором.

Трехслойные панели относятся к бескаркасным конструкциям и представляют собой слой утеплителя, приклеенного к тонколистовым металлическим обшивкам (рисунок 1). В качестве утеплителя применяются минераловатные, пенополистирольные или пенополиуретановые плиты, заливочный пенополиуретан. Средний слой воспринимает основные сдвиговые усилия, возникающие при поперечном изгибе ограждающих конструкций, и подкрепляет стальные тонколистовые обшивки, обеспечивая их устойчивость. Поэтому вопросам качества производства данного вида ограждающих конструкций необходимо уделять большое внимание.

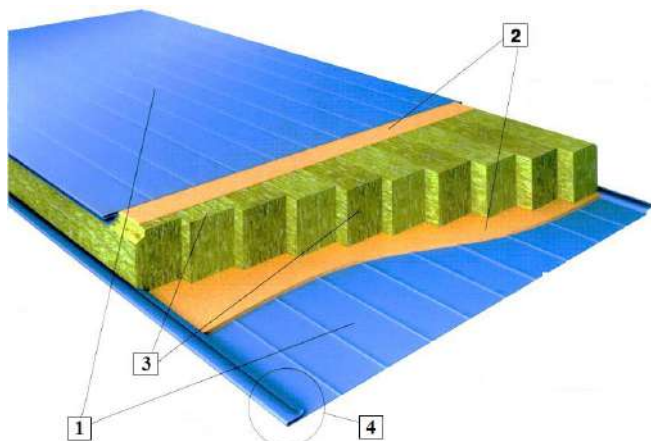


Рисунок 1 – Структура сэндвич-панели:

1 – оцинкованная тонколистовая сталь с многослойной отделкой и полимерным покрытием; 2 – двухкомпонентный синтетический клей на полиуретановой основе; 3 – конструкционные ламели минеральной ваты из базальтового волокна; 4 – замковое соединение)

Рассмотрим основные дефекты при производстве трехслойных (сэндвич) панелей, которые влияют на их эксплуатационные свойства.

1 Непроклей. При изготовлении панелей применяют однокомпонентный или двухкомпонентный клей на полиуретановой основе. Однокомпонентный клей применяется при немеханизированном изготовлении панелей, двухкомпонентный позволяет механизировать процесс склеивания панелей и уменьшить время схватывания. Соблюдение времени схватывания для однокомпонентного клея также влияет на качество изготовления панелей.

Важным вопросом является контроль расхода клея. Вследствие засорения сопел клеераздаточного станка расход клея по показаниям расходомера на станке и фактически нанесённого клея расходится в несколько раз. Недостаточное количество клея приводит к отрыву обшивки от сердечника ввиду неправильно выполненной операции склейки и ведет к разрушению конструкции панели при ее последующей эксплуатации (рисунок 2).



Рисунок 2 – Разрушение конструкции панели из-за неправильно выполненной операции склейки

Применение материалов обшивок с несоответствующим грунтовым покрытием снижает качество панелей вследствие отслоения обшивок.

Сердечник панелей с минераловатным утеплителем состоит из ламелей, которые получают разрезкой листа. Ламели имеют специальную вертикальную ориентацию, которая помогает подкрепить сжатую обшивку. Применение сердечника без вертикально ориентированных волокон приводит к браку (рисунок 3);



Рисунок 3 – Некачественный выбор сырья для производства сэндвич-панелей

Допуск на отклонение высоты ламелей по действующим ТНПА не должен превышать 1,0 мм (по нормам Республики Польша 0,5 мм), при большем отклонении по высоте не обеспечивается совместная работа обшивки и сердечника.

Важным вопросом при изготовлении панелей является подбор клея и утеплителя. При одном виде утеплителя клеевой шов прочный, при смене утеплителя происходит отслаивание сердечника вследствие непрочности.

Соблюдение температурно-влажностного режима при склейке панелей также влияет на качество изготовления панелей. Надежное склеивание сердечника и обшивки можно получить только при положительной температуре. Чем выше температура, тем быстрее происходит процесс склеивания.

2 Механические повреждения и коррозия металла обшивки панелей ввиду неправильного выбора марок и характеристик (свойств) стали для производства обшивки панелей. Например, если толщина металла составляет менее 0,45 мм, применять представленный материал не рекомендуется из-за невозможности выполнить качественный прокат обшивки и недостаточной прочности обшивки на сжатие.

3 Недостаточная несущая способность панелей, которая возникает из-за неправильного выбора среднего слоя (утеплителя) при производстве панелей и приводит к разрушению конструкции в процессе транспортировки и дальнейшей эксплуатации. Существенное влияние на несущую способность панели и ее теплотехнические характеристики оказывает плотность минераловатных ламелей и их положение.

4 Некачественное профилирование замкового соединения сэндвич-панелей. Конструкция замкового соединения должна исключать проникновение влаги в сердечник панели и возникновение капиллярного эффекта (всасывания в щель) (рисунок 4);

5 Неправильная геометрия панелей. Нарушение геометрии панелей (косина реза, предельные отклонения размеров и т. д.) способствует возникновению щелей в кровле или стенах, что нарушает теплоизоляцию, а

также со временем вызывает коррозию и повреждение утеплителя.



Рисунок 4 – Примеры замкового соединения сэндвич-панелей

Заключение. Проанализировав основные дефекты, возникающие при производстве сэндвич-панелей, можно выделить наиболее вероятные проблемы, связанные с процессом производства:

- выбор сырья и материалов для производства панелей, не отвечающих требованиям действующих ТНПА;
- отсутствие квалифицированного сервисного обслуживания процесса производства;
- недостаточный контроль параметров технологического процесса;
- посредственный технический контроль (не каждый производитель готов выбросить произведенный товар с небольшими техническими дефектами, которые образовались в процессе производства сэндвич-панелей в результате недосмотра или халатности некоторых работников, либо неисправности узлов и агрегатов производственной линии);
- недостаточный лабораторный контроль процессов изготовления панелей (не каждый производитель может содержать производственную лабораторию или нести затраты по испытанию образцов в аккредитованных лабораториях).

Получено 22.11.2017

A. V. Baranchyk, V. G. Baranchyk. Defects arising in the manufacture of sandwich panels from mineral plates.

Sandwich panel with mineral wool insulation are self-supporting structures and used for the construction of any buildings from private houses to large shopping centers and warehouses. It is widely used due to their excellent thermal performance, environmental resistance, low weight and high assembly rates. Therefore, the quality of sandwich panels is an important factor.

УДК 69.003.13

И. А. ЛАДНЫХ, аспирант кафедры «МДК», Белорусский национальный технический университет, г. Минск

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЭП МЕТОДОВ УСИЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ УСИЛЕНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ АРОК

Представлен новый способ усиления деревянных арочных конструкций с использованием композитных материалов. Разработаны калькуляции трудозатрат на усиление одной полуарки для нового и классического способов усиления на примере реального объекта в соответствии с действующими нормативно-правовыми актами Беларуси. Проведен сравнительный технико-экономический анализ различных способов усиления, а также предложены варианты снижения себестоимости нового типа усиления.

Введение. В советское время было построено достаточно большое количество уникальных большепролетных зданий на основе деревянных арочных конструкций. Однако с течением времени они приходят в негодность и необходимо производить их усиление. В последние десятилетия появились новые методы усиления деревянных конструкций с использованием композитных материалов [1]. Для дальнейшего внедрения в массовое строительство новых технологий необходимо не только изучить несущую способность и деформативность новых методов усиления, но и оценить экономическую эффективность предлагаемых методов.

В данной статье рассматривается сравнение технико-экономических показателей двух методов усиления, которые были предложены для усиления деревянных арочных конструкций на складе мелкозернистого концентрата на втором рудоуправлении в городе Солигорске.

Первый классический метод усиления – обойма из металлических равнобоких уголков $125 \times 125 \times 8$ (рисунок 1, а). Второй способ усиления – обойма из углеродволоконных лент на основе эпоксидной смолы (рисунок 1, б).

Результаты исследования. Трудоемкость монтажа усиливающих элементов на одну полуарку для каждого способа определялась на основании действующих нормативов на территории Беларуси – сборников «Норм затрат труда (НЗТ)» [2]. Также определялась трудоемкость на устройство, перебазировку и снятие средств подмащивания для выполнения работ.

В таблице 1 приведена калькуляция трудоемкости усиления углеродволоконными лентами. Следует отметить, что прямой расценки на выполнения данных видов работ в сборниках НЗТ нет, поэтому подобрана расценка, которая может использоваться.



Рисунок 1 – Способы усиления деревянных арочных конструкций:

а – обоймы из стальных уголков; б – обоймы из углеродволокна

Для оценки трудоемкости усиления металлическими обоймами была составлена аналогичная калькуляция, приведенная в таблице 2. Стоимость изготовления металлоконструкций учтена в расчете материалов.

Стоимость человека-часа рабочих-строителей 4-го разряда за ноябрь 2017 года составляет 5,44 BYN.

Таблица 1 – Калькуляция трудозатрат усиления деревянных арок с использованием обойм из углеродволоконных лент

Состав работ	Ед. изм.	Кол-во	Норма времени, чел·ч		Шифр НЗТ	Состав звена
			на ед. изм.	на объем		
1 Нарезка полотнищ, нанесение клеевого состава на поверхность, оклеивание поверхностей, промазывание наклеенных полотнищ клеевым составом, разравнивание шпателем и снятие излишков клея	100 м ²	2,38 м ²	19	0,4522	8-1046 (применительно)	Средний разряд 3,5
2 Установка, перебазировка и снятие средств подмащивания	10 конструкций	10 конструкций	5	5	ПР-1 (применительно)	
ИТОГО				5,4522		
Расчет зарплаты: 5,4522 чел·ч × 5,44 BYN × 0,9299 = 27,58 BYN.						

Таблица 2 – Калькуляция трудозатрат усиления деревянных арок с использованием обойм из стальных уголков

Состав работ	Ед. изм.	Кол-во	Норма времени, чел·ч монтажников /машинистов		Шифр НЗТ	Состав звена
			на ед. изм	на объем		
1 Монтаж металлоконструкций (решетчатые конструкции)	1 конструктивный элемент	1	2,9 / 0,58	2,9 / 0,58	5-55 (применительно)	Средний разряд 4,4
2 Монтаж металлоконструкций (решетчатые конструкции)	Дополнительно на 1 т	1т	0,53 / 0,11	0,53 / 0,11	5-55	
3 Установка, перебазировка и снятие средств подмащивания	10 конструкций	10 конструкций	5	5	ПР-1 (применительно)	
ИТОГО				8,43 / 0,69		
Расчет зарплаты: 8,43 чел·ч × 5,44 BYN × 1,0408 = 47,73 BYN; 0,69 чел·ч × 5,44 BYN = 3,75 BYN.						

Стоимость материалов и конструкций была рассчитана на основании действующих цен на территории Беларуси и норм расхода в соответствии с технологической картой на усиление.

Углеродволоконные ленты были выбраны российского производства. Однако существуют аналоги как западного, так и белорусского производства. Однако не все производителю представлены на белорусском рынке, а также отсутствие информации по техническим характеристикам не позволили в настоящем расчете выбрать для сравнения другого производителя лент.

В таблице 3 представлен сравнительный анализ цен на усиление двумя способами и сопоставлена со стоимостью производства и монтажа одной новой полуарки. Ставка НДС принята 20 %.

Таблица 3 – Сравнительный анализ способов усиления

Показатель сравнения	Усиление с использованием обойм из стальных уголков	Второй способ. Усиление с использованием углеродволоконных лент
1 Стоимость работ усиления с НДС, BYN	6039,38	717,85
2 Отношение стоимости усиления к стоимости по изготовлению и монтажу новой арки, %	10,5	1,
3 Общая трудоемкость монтажников, чел·ч	8,43	5,45

Получено 09.11.2017

I. A. Ladnykh. Comparative analysis technical and economic indicators of methods of strengthening according the example of strengthening wooden arches.

The article presents a new method of strengthening wooden arched structures using composite materials. Cost estimate for the effort required to gain one semi arch-for the new and classical methods of amplification have been developed on the example of the real object in accordance with the applicable Belarusian legal acts. Comparative techno-economic analysis of different ways to enhance, and also the cost reduction options of a new type of amplification.

Основным недостатком первого способа усиления с использованием обойм из стальных уголков является не только относительно высокая стоимость, но также и низкая стойкость к воздействию химически агрессивных сред, что отрицательно сказывается при усилении деревянных конструкций, эксплуатируемых в условиях постоянного воздействия химически агрессивных веществ, в частности на складских комплексах Солигорского комбината по производству калийных удобрений.

Заключение. Предлагаемый новый способ усиления углеродволоконными лентами имеет сравнительно низкую стоимость по его устройству, однако недостаточная изученность работы усиливающих элементов ограничивает его применение. Следует отметить, что еще одним фактором, который позволит снизить стоимость усиления, является применение белорусских углеродволоконных лент производства Гродноазот или Светлогорскхимволоконно.

Автором планируется дальнейшее изучение прочностных и жесткостных характеристик усиления деревянных арок композитными материалами.

Список литературы

1 **Ладных, И. А.** Современные тенденции в области усиления деревянных конструкций / И. А. Ладных // Вестник СевКавГТИ. – 2017. – № 3(30). – С. 128–133.

2 НЗТ. Сборник 8.1. Отделочные покрытия строительных конструкций. Отделочные работы. – Минск : М-во стр-ва и архитектуры Респ. Беларусь, 2011. – 102 с.

УДК 624.072.21.7

А. А. ВАСИЛЬЕВ, кандидат технических наук, О. В. КОЗУНОВА, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

РАСЧЕТЫ НА ПРОЧНОСТЬ КОМПОЗИЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ ВАРИАЦИОННО-РАЗНОСТНЫМ МЕТОДОМ

Рассматриваются алгоритм и результаты расчетов композиционных стеновых блоков на гибких связях для энергоэффективных зданий в линейной постановке с применением вариационно-разностного метода (ВРМ). Расчетные модели представлены совокупностью упругих слоев с постоянными параметрами упругости. Для реализации указанного метода составлена программа на языке Mathematica 8.0, проведена ее числовая апробация.

В ходе компьютерного моделирования авторами были предложены наряду с ВРМ линейные расчеты композиционных элементов ограждающих конструкций методом конечных элементов в реализации программного комплекса Ansys.

Введение. При возведении новых современных зданий определяющим для повышения экономичности их строительства и энергоэффективности здания в целом являются:

- оптимизация элементов несущих и ограждающих конструкций, связанная с уточнением методики статического расчета вариационно-разностным методом, которая позволяет проектировать элементы экономически менее затратными по материалу и работе и более рациональными по конструкции;

- уменьшение площади наружных ограждающих конструкций, которое может быть достигнуто только применением современных эффективных теплоизолирующих материалов, обеспечивающих не только необходимое значение сопротивления теплопередаче конструкции ограждения, но и высокие прочностные свойства, архитектурную выразительность, требуемую долговечность при минимальных производственных, строительных и эксплуатационных затратах.

Поэтому производство рациональных стеновых материалов с повышенными теплоизоляционными свойствами, а также разработка новых конструктивных систем тепловой изоляции зданий – одна из основных и самых актуальных задач современного строительства, в том числе энергоэффективного, и носит комплексный характер.

Структура композиционного стенового блока на гибких связях. Одним из типов современных конструкций ограждений многоэтажных энергоэффективных зданий с наружными стенами, поэтажно опирающимися на диски перекрытий, является предлагаемая в работе [1] авторами А. В. Герашенко и А. А. Васильевым конструкция из штучных стеновых материалов на основе применения блока стенового композиционного.

Блок представляет собой трехслойную конструкцию, в которой несущие слои выполнены из дисперсно-армированного бетона (стеклофибробетона), а теплоизолирующий слой – из пеностекла. Наружный и внутренний несущие слои соединяются системой гибких связей, выполняемых из стеклотканевой сетки (регистрационный № 7498 в Государственном реестре полезных моделей).

В научно-исследовательской лаборатории «Строительные конструкции, основания и фундаменты» им. д.т.н., проф. И. А. Кудрявцева БелГУТа были проведены испытания экспериментальных блоков, изготовлен-

ных на ОАО «Гомельстекло», по определению физико-механических характеристик предлагаемой конструкции. По результатам предварительных исследований получены следующие механические характеристики прочности блока:

- предел прочности блока на сжатие – не ниже 1,0 МПа;
- предел прочности несущей обкладки блока на сжатие – не ниже 9,3 МПа;
- разрушающая нагрузка – 100 кН.

Применение предлагаемого композиционного блока позволяет проектировать стеновые ограждения для энергоэффективных зданий с поэтажно опирающимися на диски перекрытий наружными стенами, отвечающие всем современным нормативным требованиям не только в удовлетворении требуемых теплотехнических свойств, но и в обеспечении необходимой коррозионной стойкости и долговечности, обеспечивая зданиям выразительный архитектурный облик весь срок эксплуатации. При этом значительно снижается стоимость возведения (по сравнению с существующими) не только ограждающих конструкций, но и зданий в целом.

Линейный расчет композиционного стенового блока на гибких связях вариационно-разностным методом.

Расчетная модель стенового блока на гибких связях. Композиционный стеновой блок состоит из двух несущих слоев (пластин), подкрепленных диафрагмами жесткости, которые в дальнейшем называются гибкими вертикальными связями (рисунок 1).

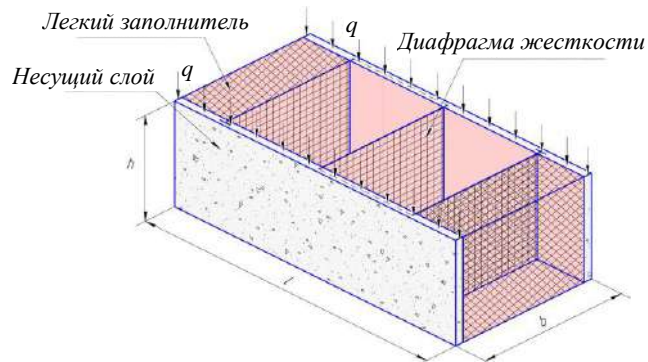


Рисунок 1 – Расчетная модель композиционного стенового блока на гибких связях

На специальный клей к пластинам и диафрагмам жесткости приклеены пакеты из легкого заполнителя (утеплителя) [1]. Они увеличивают жесткость композиционного блока без потери его прочности. Размеры блока $b \times l \times h$: $280 \times 360 \times 220$ мм, при этом толщина пластин – 15 мм.

В расчете трехслойный стеновой блок моделируется совокупностью вертикальных упругих слоев (УС) конечных размеров с постоянными параметрами упругости. Для решения задачи линейной теории упругости (плоская деформация) используется *вариационно-разностный метод*, который нашел практическое применение в расчетах балок, балочных плит и приближенных к ним расчетных моделей упругих элементов конструкций на упругом, в том числе и искусственном основании.

Вариационно-разностный метод был предложен, апробирован и внедрен в инженерную практику в работах С. В. Босакова, О. В. Козуновой, Е. А. Сигая [2–5], где рассматривалось нежесткое упругое – грунтовое основание, характеристики которого приближены к реальным условиям. В зависимости от жесткости основание может иметь резко отличительные упругие характеристики (модуль упругости, коэффициент Пуассона, предел текучести и прочности). В предлагаемом расчете упругое основание – железобетонная плита перекрытия, которое моделируется как жесткое искусственное основание, что учитывается в кинематических граничных условиях.

Постановка краевой задачи. Рассматривается композиционный стеновой блок шириной b на искусственном основании под действием сжимающей нагрузки, распределенной вдоль верхней грани несущего слоя. На расчетной модели (см. рисунок 1) распределенная нагрузка q собирается в систему узловых сосредоточенных сил общим значением F .

При расчете слоистая упругая конструкция заменяется прямоугольной расчетной областью метода конечных разностей (МКР). На рисунке 2 композиционный блок аппроксимируется равномерной симметричной разбивочной сеткой с постоянным шагом вдоль осей $X - \Delta x$ и $Y - \Delta y$. В результате получено 159 i -х узловых и 140 j -х сеточных ячеек.

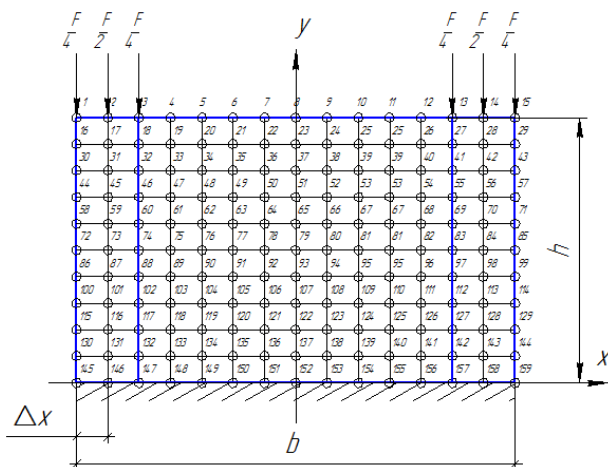


Рисунок 2 – Разбивочная сетка расчетной области

За неизвестные принимаются: $u_i(x), v_i(y)$ – компоненты вектора перемещения i -й узловой точки блока.

Граничные условия задачи: на нижних границах принятой расчетной области перемещения $u = 0, v = 0$ (см. рисунок 2).

В результате линейного расчета *требуется* определить параметры напряженно-деформированного состояния (НДС) композиционного стенового блока:

- распределение вертикальных и горизонтальных перемещений узловых точек расчетной области блока;
- распределение вертикальных и эквивалентных напряжений в центрах ячеек расчетной области блока;
- построение эпюр суммарных прогибов и напряжений в несущем слое стенового блока.

Алгоритм линейного расчета стенового блока с использованием ВРМ. Согласно вариационному принципу Лагранжа при нагружении стенового блока статической нагрузкой его полная потенциальная энергия в состоянии статического равновесия принимает минимальное значение. Величина функционала полной потенциальной энергии композиционного блока под действием статической нагрузки определяется по формуле

$$\mathcal{E} = U_f + \Pi, \quad (1)$$

где U_f – функционал энергии деформаций упругого блока; Π – потенциал внешней нагрузки.

Для решения сформулированной краевой задачи в линейной постановке используются слагаемые функционала полной потенциальной энергии [3]:

- функционал энергии деформаций упругого блока

$$U_f = \iint_S \left[\frac{E_k \nu_k}{2(1 + \nu_k)(1 - 2\nu_k)} (e_x^{(k)} + e_y^{(k)})^2 + \frac{E_k}{2(1 + \nu_k)} ((e_x^{(k)})^2 + (e_y^{(k)})^2) + \frac{E_k}{4(1 + \nu_k)} (\gamma_{xy}^{(k)})^2 \right] dS, \quad (2)$$

где E_k, ν_k – упругие постоянные в т. K основания;

- потенциал внешней нагрузки

$$\Pi = - \int_{-l}^l q(x) y(x) dx. \quad (3)$$

Так как в состоянии статического равновесия функционал полной потенциальной энергии \mathcal{E} должен иметь минимум, то неизвестные перемещения $u_i(x), v_i(y)$ будут найдены из условия обращения в нуль производных от полной потенциальной энергии по каждому из перемещений, то есть

$$\frac{\partial \mathcal{E}}{\partial v_i} = 0, \quad \frac{\partial \mathcal{E}}{\partial u_i} = 0, \quad i = 1, 2, 3, \dots, N, \quad (4)$$

где N – число узловых точек стенового блока.

Числовая апробация. Для реализации указанного подхода составлена программа на языке *Mathematica 8.0* и проведена ее числовая апробация. Использовались следующие исходные параметры: боковая стенка (несущий слой) из стеклофибробетона – $\sigma_{u1} = 30$ МПа, $\nu_1 = 0,198, E_{01} = 14200$ МПа; легкий заполнитель (пено-стекло) – $\sigma_{u2} = 2$ МПа; $\nu_1 = 0,25, E_{01} = 11500$ МПа; внешняя нагрузка – $F = 1500$ Н.

На рисунке 3 приведена эпюра суммарных прогибов боковой стенки (несущего слоя) композиционного блока. Вид эпюры суммарных прогибов полностью соответствует виду деформированного состояния освобожденной стойки, сжатой сверху и имеющей жесткое защемление внизу.

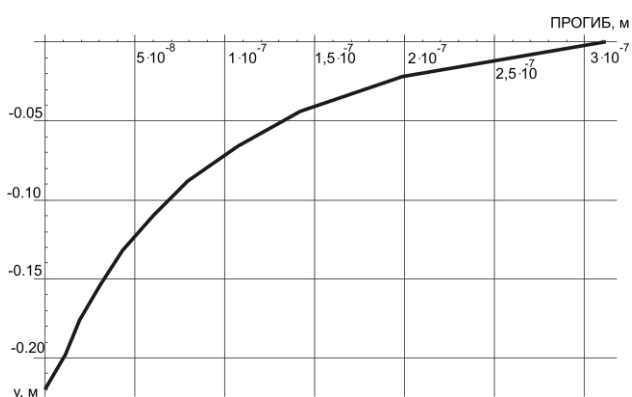


Рисунок 3 – Эпюра суммарных прогибов несущего слоя

Максимальные значения прогибов ($f_{\max} = 3,12 \cdot 10^{-7}$ м) возникают в точках приложения узловых нагрузки, где наблюдается концентрация деформаций.

На рисунке 4 представлена эпюра вертикальных напряжений в несущем слое стенового блока. Вид и характер этой эпюры аналогичен эпюре суммарных прогибов сжатой стойки с жестко защемленным нижним концом. Максимальные значения вертикальных напряжений ($\sigma_{\max} = 34,4$ кПа) возникают в центрах верхних ячеек, где наблюдается концентрация напряжений.

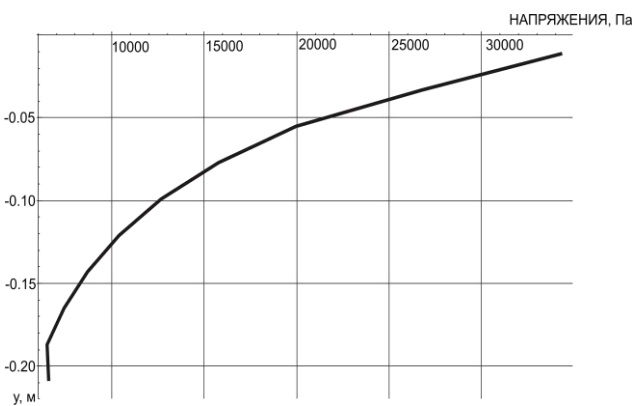


Рисунок 4 – Эпюра вертикальных напряжений в несущем слое

Анализ напряженно-деформированного состояния композиционного стенового блока, находящегося под действием статической нагрузки и рассчитанного с использованием вариационно-разностного подхода, показывает, что блок работает с огромным запасом прочности на сжатие.

Максимальные нормальные напряжения в несущем слое (по результатам расчета с использованием ВРМ) ($\sigma_{\max} = 34,4$ кПа), а предел прочности этого же слоя (по результатам эксперимента) $\sigma_u = 9,3$ МПа.

Линейный расчет композиционного стенового блока с использованием компьютерной программы ANSYS. Моделирование композиционного стенового блока с использованием компьютерной программы

ANSYS начинается с создания *геометрической модели объекта*. Модель объекта представляет собой сборку в виде соединения нескольких компонентов и содержит совокупность взаимосвязей, определяющих взаимное положение этих компонентов и их взаимодействие при перемещении.

В дальнейшем проводится анализ полученной сборки в программном комплексе ANSYS. Данный комплекс требует соблюдения базового алгоритма метода конечных элементов (МКЭ), предоставляя внутри каждого этапа определенную свободу в последовательности шагов подготовки модели и рассмотрении результатов.

Первым этапом анализа явилось создание его алгоритма, включающего в себя построение расчетной модели определенного типа, задание граничных условий, получение результатов в графическом виде, а также выполнение соответствующих настроек, которые могут быть изменены пользователем перед выполнением нового варианта расчета.

Следующим этапом является подготовка исходных данных, необходимых для заданного анализа. В частности, назначаются материалы для всех деталей сборки, определяются кинематические граничные условия, учитывающие жесткое защемление нижней части блока. Расчетная модель сборки при статическом анализе учитывает совместное перемещение сопряженных элементов.

Важным этапом в расчете методом конечных элементов является создание расчетной сетки, когда модель разбивается на элементарные геометрические составляющие, такие как тетраэдр, параллелепипед, цилиндр с определенными взаимосвязями между ними.

Конечным этапом линейного расчета композиционного стенового блока является вывод результатов в графическом и численном видах, примеры которых приведены на рисунках 5, 6.

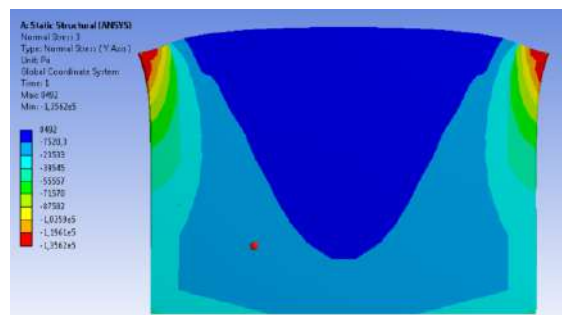


Рисунок 5 – Деформированное состояние стенового блока

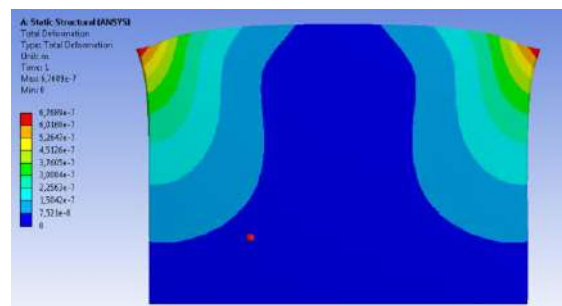


Рисунок 6 – Напряженное состояние стенового блока

Максимальные значения прогибов несущего слоя стенового блока, полученные в результате линейного

расчета с использованием МКЭ и ВРП, составили соответственно $6,1 \cdot 10^{-7}$ и $3,12 \cdot 10^{-7}$ м.

Максимальные значения напряжений в несущем слое стенового блока, вычисленные в результате расчетов с использованием МКЭ и ВРП, составили соответственно 125 и 34,4 КПа.

Сравнение результатов. Полученные различия в прогибах и напряжениях несущего слоя композиционного стенового блока могут быть объяснены следующим образом:

– в линейном расчете по МКЭ (программный комплекс ANSYS) при моделировании использовалась несимметричная разбивочная сетка, имеющая мелкую разбивку в несущих слоях и зонах концентрации напряжений и деформаций, что позволяет добиться более точного результата;

– в линейном расчете по ВРПМ разбивочная сетка расчетной области – симметричная, что несколько снижает точность. Внешняя нагрузка моделируется в виде системы сил, сосредоточенных в узлах, что более близко при идеализации этой нагрузки и уточняет искомые значения. Этим частично объясняется расхождение в результатах расчетов;

– кроме того, существенные отличия в напряжениях объясняются тем, что при моделировании с использованием ВРМ не учитываются сдвиговые деформации, следовательно, в результате расчета не учитываются касательные напряжения, которые (как показывает расчет с использованием ANSYS) составляют значительную часть в значениях эквивалентных напряжений, и ими пренебрегать нельзя.

Заключение. Для исследования напряженно-деформированного состояния композиционного стенового блока была разработана компьютерная программа в математическом пакете Mathematica 8.0.

В ходе компьютерного моделирования авторами для линейных расчетов композиционного стенового блока были использованы два метода:

– вариационно-разностный (ВРМ), который численно реализуется методом конечных разностей (МКР) в программном пакете Mathematica;

– метод конечных элементов (МКЭ) в реализации программного комплекса ANSYS.

Сравнение результатов показало некоторое несогласование полученных значений параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) композиционного стенового блока, исследованных с использованием ВРМ и МКЭ. Несмотря на некоторые различия, получены результаты одного порядка, что позволяет утверждать о корректности алгоритма линейного расчета с использованием ВРМ и достоверности получаемых результатов.

Получено 30.11.2017

A. A. Vasilyev, O. V. Kazunova. Calculations for the strength of composition elements of fencing constructions energy efficient buildings by variation-difference method.

The algorithm and results of calculations of composite wall blocks on flexible connections for energy-efficient buildings in a linear setting using the variational-difference method (VDM) are considered. Calculation models are represented by a set of elastic layers with constant elasticity parameters. To implement this method, a program was written in the language Mathematica 8.0, and its numerical approval was carried out.

In the course of computer modeling, along with BPM, authors also proposed linear computations of composite elements of enclosing structures by the finite element method in the implementation of the ANSYS software package.

Хотелось бы отметить, что ранее в статье [6] авторами уже проводилась верификация вариационно-разностного метода, которая осуществлялась путем сравнения результатов линейных и нелинейных расчетов с использованием ВРМ и результатов, полученных с помощью современных компьютерных комплексов ANSYS, Femap (Nastran), методом расчета в которых является метод конечных элементов (МКЭ). Сравнение результатов показало хорошее согласование параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) исследуемой неоднородной среды, которые были получены с использованием ВРМ и МКЭ, и подтвердило корректность алгоритма нелинейного расчета с использованием метода упругих решений в итерациях и достоверность получаемых результатов.

Разработанная для вариационно-разностного метода компьютерная программа может быть использована в расчетах на прочность композиционных элементов ограждающих конструкций энергоэффективных зданий по первому предельному состоянию (по несущей способности).

Список литературы

1 **Васильев, А. А.** Новый материал для конструкций стеновых ограждений энергоэффективных зданий / А. А. Васильев // Научно-технический журнал «Строительная наука и техника». – 2011. – № 4 (37) – С. 17–20.

2 **Р5.01.056.09** Рекомендации по проектированию и устройству рациональных фундаментов на основаниях, сложенных озерно-ледниковыми и лессовидными грунтами. Особенности проектирования плитных фундаментов на многослойных основаниях со слабыми слоями грунтов / О. В. Козунова // Минск : СТРОЙТЕХНОРМ, 2009. – С. 39–47, 49–58.

3 **Босаков, С. В.** Вариационно-разностный подход в решении контактной задачи для нелинейно-упругого неоднородного основания. Плоская деформация. Теория расчета (Часть 1) / С. В. Босаков, О. В. Козунова // Вестник БНТУ. – 2009. – № 1. – С. 5–13.

4 **Босаков, С. В.** Вариационно-разностный подход в решении контактной задачи для нелинейно-упругого неоднородного основания. Плоская деформация. Результаты расчета (Часть 2) / С. В. Босаков, О. В. Козунова // Вестник БНТУ. – 2009. – № 2. – С. 15–19.

5 **Козунова, О. В.** Нелинейный расчет инженерной системы «плита – основание» с использованием переменного модуля деформации / О. В. Козунова, Е. А. Сигаи // Вестник гражданских инженеров. – 2011. – № 1(26) – С. 72–82.

6 **Козунова, О. В.** Верификация вариационно-разностного подхода при расчете нелинейно-упругого неоднородного основания под балочной плитой / О. В. Козунова, Н. С. Щетько // Строительная наука и техника. – 2011. – № 2 (35). – С. 57–61.

УДК 539.3

А. Д. ЧЕПУРНОЙ, доктор технических наук, УК «РэйлТрансХолдинг», г. Москва; В. И. СЕНЬКО, доктор технических наук, С. В. МАКЕЕВ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; А. В. ЛИТВИНЕНКО, доктор технических наук, Р. И. ШЕЙЧЕНКО, Р. В. ГРАБОРОВ, УК «РэйлТрансХолдинг», г. Москва; Н. А. ТКАЧУК, доктор технических наук, М. А. БОНДАРЕНКО, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Украина

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА СЛОЖНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Предложен новый подход для решения задач анализа и синтеза сложных пространственных тонкостенных конструкций, который базируется на обобщенном параметрическом моделировании сложных механических систем. В качестве обобщенных параметров выступают структура, проектно-технологические решения этих конструкций, конструктивные параметры и эксплуатационные режимы. При этом обеспечивается и решение задач единичного анализа, и многовариантных исследований, и обоснования рациональных проектно-технологических решений. Кроме того, обоснованы параметры конечно-элементных моделей для обеспечения точности расчета напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов. Также возможно моделирование граничных условий и усилий нагружения не только для одной, но и для ряда однотипных конструкций. В результате создается инструмент для оперативного и точного решения всей совокупности задач обоснования проектных решений для сложных пространственных тонкостенных конструкций по критериям прочности и жесткости.

Введение. При проектных разработках новых изделий зачастую действуют нормы и требования, предписывающие объем и номенклатуру расчетных исследований и натурных испытаний, которым они подвергаются для удовлетворения комплекса установленных требований. Так, при создании подвижного состава железнодорожного транспорта, например грузовых вагонов, действует целый ряд нормативов [1, 2], ограничивающих ходовые, динамические, прочностные, жесткостные и другие характеристики. Соответственно, при проектировании каждого типа конструкции для подвижного состава разрабатываются программы и методики испытаний, через которые «пропускаются» либо проектные модели, либо опытные экземпляры. Эти документы, в свою очередь, основываются на соответствующих нормах и адаптируются к той или иной конкретной конструкции. Таким образом, из однотипных общих требований к группе конструкций порождаются множественные конкретные методики испытаний.

С одной стороны, естественным следствием из анализа результатов испытаний близких по конструкции подвижных составов (например, модификаций вагонов с близкими конструктивными решениями) следует и схожесть характеристик, которые обосновываются в ходе этих испытаний. С другой стороны, ряд нормативных требований «привязаны» к ограничениям и, соответственно, неизменны от объекта к объекту (например, скоростной режим); другие требования определяются либо конструкцией изделия (масса, размеры), либо техническими требованиями (грузоподъемность), а значит, пропорциональных (каждый в той или иной мере) некоторым характеристикам изделия, условно принимаемого в качестве номинального из определенной группы или класса.

Кроме того, подвижной состав представляет собой пространственные тонкостенные конструкции, для которых в ряде работ [3–5] установлена справедливость близкого к линейному закону изменения прочностных и жесткостных характеристик от варьируемых параметров. В дополнение, в ряде публикаций [6–8] изложен

общий подход к идентификации параметров широкого множества моделей исследуемых объектов. Из этого следует, что сегодня существует множество разработок, которые направлены на решение тех или иных частных проектно-исследовательских задач. Но в то же время отсутствует общий подход к решению проблемы обоснования проектно-технологических решений тонкостенных машиностроительных конструкций при наличии нормативно устанавливаемых требований и объема испытаний. Решению этой проблемы и посвящена данная работа.

Общая постановка проблемы. Формирование общей постановки проблемы основано на теоретических разработках, которые дают возможность оперировать с различными видами информации. В частности, для этих целей наиболее целесообразно использовать метод обобщенного параметрического моделирования [6], в соответствии с которым все виды факторов, функций, зависимостей, распределений, структур и т. п. трактуются как обобщенные параметры. Это очень важное свойство, предоставляющее инструмент варьирования, изменения, определения, оптимизации одной части обобщенных параметров при фиксированной или ограниченной части – других. Соответственно, этот универсальный метод необходимо адаптировать к решению проблемы обоснования проектно-технологических решений тонкостенных машиностроительных конструкций при наличии нормативно-установленных требований к характеристикам и объему испытаний. В качестве примера в статье анализируются грузовые вагоны, а также другие виды подвижного состава.

В операторном виде процессы и состояния проектируемых конструкций записываются в виде

$$L P, U, F, t = 0, \quad (1)$$

где L – оператор, соответствующий исследуемым процессам или состояниям; $P = p_1, p_2, \dots, p_{N_p}$ – массив обобщенных параметров, идентифицирующих исследуемый

объект; $U = u_1, u_2, \dots, u_{N_U}$ – массив переменных, описывающих временные и пространственные распределения физических величин, отражающих реализуемые в исследуемых объектах процессы и состояния в ходе изготовления и эксплуатации; $F = f_1, f_2, \dots, f_{N_F}$ – массив нагрузок (внешних и внутренних), действующих на исследуемый объект; t – время или иной параметр, описывающий эволюцию состояния исследуемого объекта.

В дальнейшем в качестве оператора L рассматриваются соотношения теории упругости, пластин, стержней и оболочек [9–11].

В качестве переменных состояния выступают, например, перемещения, напряжения, деформации. Так, если конструкция содержит ряд пространственных компонент с существенно неоднородным напряженно-деформированным состоянием (НДС), то в пределах каждого объема $\Omega_i, i = 1, 2, \dots, N_\Omega$ справедливы соотношения [9]

$$\begin{aligned} 2\varepsilon_{ij} &= \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}; \\ \sigma_{ij} &= C_{ijkl}\varepsilon_{kl}; \\ \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} + Q_i &= 0, \end{aligned} \quad (2)$$

где u, ε, σ – векторы перемещений, тензоры деформаций и напряжений как функции радиус-векторов \vec{r} точек этих областей Ω_i ; C_{ijkl} – тензор модулей упругости материалов конструкции; Q_i – объемные нагрузки.

Соотношения (2) для случая тонкостенных конструкций редуцируются к системе уравнений для описанных НДС стержней, пластин и оболочек или конструктивов, из этих элементов составленных. Это сводится к последовательности этапов:

– отдельные объемы Ω_k представляются в виде дву- или одномерного многообразия, которому приданы соответствующие распределенные характеристики,

$$\Omega_k = S_k H_k, \quad (3)$$

где S_k – соответствующее многообразие; H_k – набор характеристик, $H_k = H_k \in \vec{r} \in S_k$;

– переменные состояния представляются в виде

$$u|_{r \in \Omega_k} = u|_{r_0 \in S_k} + \sum \lambda_i^{(k)} \rho_i^{(k)}, \quad (4)$$

где ρ_i – координаты в направлениях, нормальных к S_k ; λ_i – некоторые коэффициенты, определяемые типом используемой для описания НДС модели;

– уравнения (2) преобразуются к соотношениям, действующим на соответствующих многообразиях:

$$L_S P, U_S, F, t = 0. \quad (5)$$

Так, если рассмотреть НДС пластины, то в качестве многообразия S имеем плоскую фигуру в пространстве, совпадающую со срединной плоскостью для объема Ω , а в качестве характеристики – распределение толщины $h = h(x, y)$, где x, y – координаты в срединной плоскости. В качестве единственной координаты ρ выступает координата z , направленная по нормали к срединной плоскости. Уравнения (5) принимают вид:

– для геометрически линейных задач –

$$\begin{cases} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{q}{D}; \\ \nabla^2 \nabla^2 \psi = 0; \end{cases} \quad (6)$$

– для геометрически нелинейных задач –

$$\begin{cases} D \nabla^2 \nabla^2 w = q + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - 2 \frac{\partial^2 \psi}{\partial x \partial y} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}; \\ \frac{1}{Eh} \cdot \nabla^2 \nabla^2 \psi = \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 - \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}, \end{cases} \quad (7)$$

где w – прогибы пластины; E – модуль упругости материала; h – толщина пластины; q – поперечная нагрузка; ∇^2 – оператор Лапласа; ψ – функция Эри; x, y – координаты в срединной плоскости пластины; z – координата по нормали к x, y [12].

Для оболочек и стержней процедура является аналогичной, за исключением описания формы срединной поверхности (в первом случае) или набора характеристик (во втором случае).

В зависимости от вида составных конструктивов можно принять в качестве базового описание (1), что позволяет обеспечить привязку к тому или иному «скелету» конструкции (т. е. набору многообразий, составляющих ее структуру). Тогда, принимая во внимание линеаризацию переменных состояния и характеристик НДС при варьировании отдельных параметров, можно поставить задачу синтеза проектно-технологических решений исследуемых тонкостенных машиностроительных конструкций в виде набора критериев и ограничений:

$$h_q \geq h_q^*, H = \{h_1, h_2, \dots, h_{N_H}\}; \quad (8)$$

$$I \in P, U \rightarrow \min. \quad (9)$$

Здесь H – набор характеристик, которым предписаны ряд ограничений (масса, напряжения, деформации и т. п.); I – целевая функция, зависящая от обобщенных параметров P , характеристик H , переменных состояния U , которую следует минимизировать в обобщенном параметрическом пространстве, удовлетворяя одновременно системе ограничений.

Типы возникающих задач и способы их решения.

В развитие подхода, предложенного в работе [5], можно обобщить задачи (1), (8), (9) (таблица 1).

Таблица 1 – Обобщение типов задач анализа и синтеза сложных пространственных тонкостенных конструкций

Решаемые задачи	Зависимости	Примечание
1 На основе индексирования соотношений (1)–(9) на множестве $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_{N_Z}\}$		
1.1 Унификация	$P_q^{z_i} = P_q^{z_j}; q = 1, 2, \dots, N_{q_i}; \{i, z_j\} \in Z. \quad (10)$	При двух (или более) объектах z_i и z_j требуется обеспечить идентичность некоторого проектно-технологического решения [решение P_q систем соотношений (1), (8), (9) являются ограничениями типа (10), и вместо оптимального решения P^* получается решение P^{**}]
1.2 Оптимизация (унификация)	$J = J_1 - J_2, \quad (11)$ где J_1 – экономия от введения унификации; J_2 – порождаемые введенной унификацией дополнительные расходы	Получение новых оптимальных решений P^{**} для объектов $\{i, z_j, z_k, \dots\}$ (на которые распространяется унификация ряда изделий Z) на множестве решений $\{q_1, q_2, q_3, \dots\}$, удаляющихся все дальше от решения P^* . Это приводит к ухудшению оценок по критериям (9) и др. (например, по стоимости изготовления)
	$J(\vec{P}) \rightarrow \max; J(\vec{P}) \geq 0, \quad (12)$ где первая составляющая обеспечивает максимизацию выгоды, а вторая – зону безубыточности	
1.3 Эффективность	$J(\vec{P}) = \gamma_1 J_1(\vec{P}) - \gamma_2 J_2(\vec{P}), \quad (13)$ где γ_1, γ_2 – удельные веса экономии и убытков, определяемые программами выпуска изделий	Взвешенная «оценка эффективности» с учетом реальных потребностей в различных изделиях
2 На основе результатов проектных (индекс «k») и экспериментальных (индекс «E») исследований		
2.1 Идентификация нагрузок	$\ F^{(k)} - F^{(E)}\ \rightarrow \min, \quad (14)$ где $\ F^{(k)} - F^{(E)}\ $ – некоторая оценка несоответствия результатов исследований, учитывающая множественность объектов и объем экспериментальной и проектно-исследовательской информации	Идентификация части нагрузок, которая неизменна при изменении исследуемого объекта. Часть, которая зависит от характеристик объекта, идентифицируется при помощи дополнительных соотношений, которые эти зависимости описывают
2.2 Верификация параметров	$\vec{P} = O_z(\vec{P}^*) \quad (15)$	Определение такого набора параметров \vec{P} , который дает возможность заведомо удовлетворить всем требованиям (8), (9) с превалированием ограничений (8)
3 На основе данных о спроектированных, испытанных и сертифицированных объектах Z		
3.1 Прогнозирование	$P^\Pi = \Pi(H, I, F) \quad (16)$	Построение аппроксимационной функции Π , связывающей параметры P , характеристики H и функцию качества I , на основе которой можно спрогнозировать рациональные параметры для нового объекта, не входящего в набор Z
3.2 Отстройка и локализация	$\omega \Phi_0 + \Delta p \approx \omega \Phi_0 + \nabla_\omega \cdot \Delta p \Rightarrow \Delta p = \nabla_\omega^{-1} (\omega^+ - \omega \Phi_0) \quad (17)$ $\sigma \Phi_0 + \Delta p \approx \sigma \Phi_0 + \nabla_\sigma \cdot \Delta p \Rightarrow \Delta p = \nabla_\sigma^{-1} (\sigma^+ - \sigma \Phi_0) \quad (18)$ где $\nabla_{\omega, \sigma}$ – соответственно матрицы чувствительности собственной частоты колебаний ω и напряжений σ к варьированию параметров Δp , а ω^+, σ^+ – характеристики, которых желательно достигнуть	Отстройка от резонансных частот или удаления зон с высокими напряжениями из нежелательных областей (сварные швы, крепления ответственных элементов и т. п.) на основе имеющихся результатов исследований для набора объектов Z , а также свойствах решений задач анализа напряженно-деформированного состояния и спектра собственных частот колебаний

Алгоритмизация предложенных методов расчета тонкостенных конструкций. Сформулировав общий подход, а также различные постановки и наметив методы решения возникающих частных задач, необходимо разработать структуру исследований, учитывающих предложенные наработки. Поскольку данная задача не имеет универсального решения, предлагается иной путь. Он состоит в том, что для определенного класса конструкций создается обобщенное параметрическое описание [6]. Оно может быть построено на любой основе, однако должно удовлетворять следующему требованию: по заданному набору обобщенных параметров строить, и притом однозначно, модель исследуемого объекта в заранее согласованном формате. С другой стороны, должен быть создан механизм варьирования обобщенных пара-

метров, к которому предъявляется следующее требование: при изменении одного или нескольких обобщенных параметров в некоторых пределах не должна нарушаться целостность и согласованность модели всей исследуемой конструкции.

Применение основных систем CAD/CAM/CAE (Creo, Catia, ANSYS, Abaqus и т. п.) не удовлетворяет всем требованиям в инструментах и возможностях исследований. Однако игнорирование их возможностями нецелесообразно, особенно в части автоматизированного создания конечно-элементных моделей (КЭМ), расчета и постпроцессинга.

Исходя из всех обозначенных аргументов, была предложена следующая структура исследований (рисунок 1):

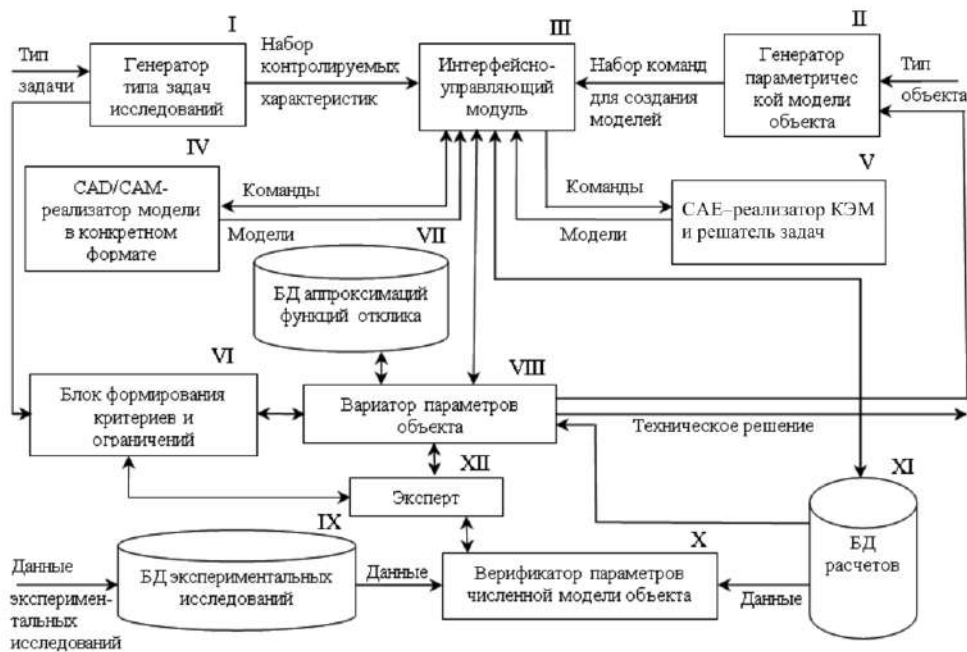


Рисунок 1 – Предлагаемая структура исследований тонкостенных машиностроительных конструкций

На вход блока I подается требование решения той или иной задачи (из перечисленных выше 1.1–3.2 или другой, которая актуальна в данный момент). На вход блока II подается тип объекта. Блок III управляет работой всех модулей. Он передает на блоки геометрического IV и конечно-элементного V моделирования команды для построения соответствующих моделей и проведения численных исследований. БД расчетов XI и БД экспериментальных исследований IX содержат постоянно накапливаемый объем информации об объекте. В блоке VII содержатся постоянно уточняемые (по мере роста объема информации об объекте) аппроксимированные поверхности отклика, описывающие зависимости характеристик объекта от его параметров.

Модуль VIII совершает целенаправленное варьирование параметров модели исследуемого объекта. Модуль X проводит верификацию параметров численной модели объекта на основе сравнения с данными экспериментальных исследований. Блок VI во взаимодействии с экспертом XII может корректировать действующие критерии и ограничения. Соответственно на выходе блока VIII получается рекомендуемое техническое решение, удовлетворяющее предъявляемому комплексу требований.

В предложенной структуре исследований имеются три основных элемента:

- модели, создаваемые и адаптированные под конкретный тип конструкции;
- программные модули, оперирующие с различного рода информацией и варьирующие текущую модель объекта;
- эксперт, который обеспечивает согласование всех этапов работ (форматов хранения информации, критериев, ограничений, алгоритмов и т. п.)

Таким образом, создается экспертно-программно-модельный комплекс, который является открытой средой, позволяющей решать поставленные задачи, среди которых:

- выбор типа подвижного состава и объема исследований;
- перенастраиваемость за счет незначительной модификации отдельных модулей;
- постоянное повышение качества генерируемых моделей (за счет постоянно пополняемого объема данных в БД IX, XI, VII) и, соответственно, принимаемых технических решений;
- моделирование и исследования, обеспечиваемые применением наиболее мощных средств компьютерных CAD/CAM/CAE систем «тяжелого» класса.

Предложенная структура исследований сочетает многие преимущества универсальных и специальных, открытых и закрытых, автоматических и неавтоматизированных систем, будучи во многом лишённой их недостатков. Далее на конкретных примерах продемонстрированы возможности этой системы для отдельных объектов и типов задач.

Синтез конструктивных решений для кузова пассажирского автобуса по критериям прочности и жесткости. В рамках данной задачи моделируется нагрузка, действующая на крышу транспортного средства при испытаниях на специальном стенде [13]. Для этого на крышу воздействовала плоская плита с силой, равной полтора его снаряженного веса, посредством задания перемещения плиты вертикально вниз. Закрепление от смещения достигнуто жестким защемлением нижней части рамы (рисунок 2).

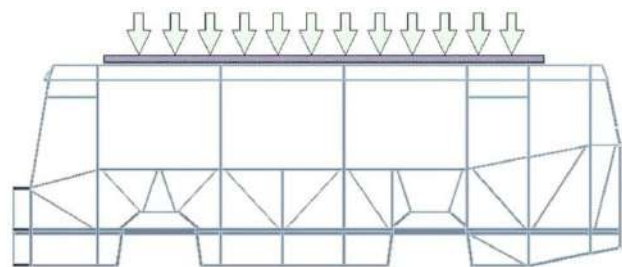


Рисунок 2 – Граничные условия и нагрузка

Данная постановка реализует «виртуальный» испытательный стенд [14], который, в отличие от реальных стендов, обладает высокой оперативностью, вариативностью и экономичностью.

С целью получения значений оцениваемых показателей при разных сочетаниях некоторых параметров исследуемого объекта и построения соответствующих зависимостей (поверхностей отклика) была применена технология параметрического моделирования [6] и предложенный в данной статье подход.

Расчеты проводились на стержневой модели с применением геометрически и физически нелинейной постановки [9].

Варьируемыми переменными были выбраны толщины стоек p_1 и перекладин крыши p_2 , а критериальной величиной выступили напряжения. Интервалы варьирования указанных параметров были разбиты на 5 и 6 подинтервалов соответственно. Таким образом, было получено 42 решения задачи анализа напряженно-деформированного состояния. Поверхность отклика была построена по этим точкам и представлена на рисунке 3.

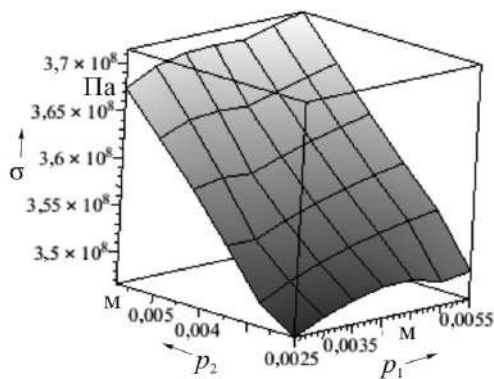


Рисунок 3 – Максимальные эквивалентные напряжения по Мизесу в зависимости от параметров p_1 и p_2

Также была получена зависимость выдерживаемой каркасом кузова автобуса нагрузки от изменения толщин его конструктивных элементов (рисунок 4).

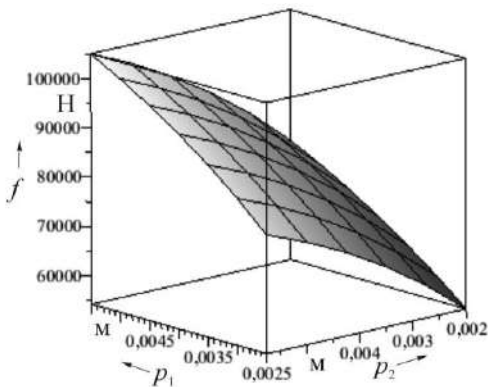


Рисунок 4 – Предельное усилие давления на крышу при изменении структурных параметров каркаса кузова

На рисунках 5, 6 приведены распределения перемещений и напряжений в каркасе кузова автобуса с базовым сочетанием конструктивных параметров $p_1 = 3,5$ мм и $p_2 = 3$ мм в момент достижения максимально допустимого нормами вертикального смещения плиты.

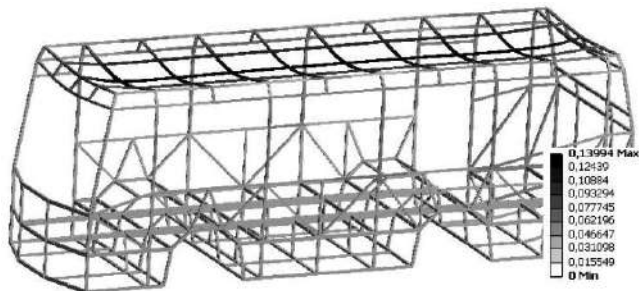


Рисунок 5 – Распределение перемещений в каркасе кузова автобуса с базовым сочетанием параметров от действия тестовой нагрузки

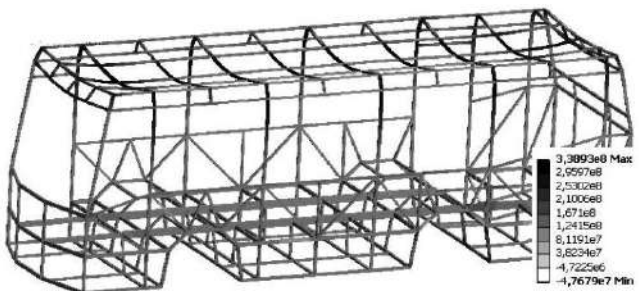


Рисунок 6 – Распределение напряжений в каркасе кузова автобуса с базовым сочетанием параметров от действия тестовой нагрузки

В дополнение исследовались зависимости («поверхности эволюции») возникающей реакции в опоре от перемещений плиты при поочередном варьировании параметров p_1 и p_2 . В качестве примера на рисунке 7 показана «поверхность эволюции» при варьировании параметра p_2 .

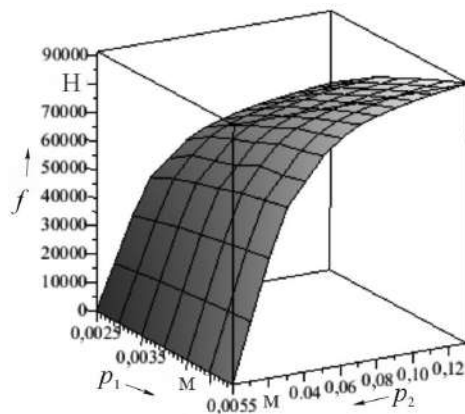


Рисунок 7 – Зависимость возникающей реакции в опоре от перемещений плиты при варьировании параметра p_2

Как видно из представленных результатов, несмотря на существенную нелинейность, заложенную в модель анализа напряженно-деформированного состояния, и поверхности отклика (см. рисунки 3, 4), и «поверхности эволюции» (рисунок 7) имеют достаточно плавный характер. В силу этого в окрестности любой точки определения построенных функций эти функции могут быть линеаризованы как по проектным, так и по нагрузочным (эксплуатационным) параметрам. Кроме того, полученные результаты могут быть использованы для решения ряда оптимизационных задач. Например, можно поставить задачу минимизации массы $m(p) \rightarrow \min$ при ограничениях $\sigma \leq \bar{\sigma}$. На рисунках 8, 9 представлены некоторые модельные

функции $\hat{m}(p) = m(p)/m(p_0)$, $\hat{\sigma}(p) = \sigma(p)/[\sigma]$, иллюстрирующие данную постановку. Кроме того, можно поставить задачу минимизации проектно-технологических изменений $I = \sum \gamma_i \hat{\sigma}_i - p_{i_0}$, где γ_i – некоторые весовые коэффициенты, «оценивающие» стоимость изменения того или иного проектно-технологического параметра. Также можно поставить задачу модернизации при наличии ограничений по критическим усилиям $P_{кр} \leq \hat{P}$. На рисунке 10 – иллюстрация, представленная в виде $\hat{I}(p) \rightarrow \min$ на фоне ограничений $\hat{P} = \hat{P}/P_{кр} \geq 1$ (функция $\varphi_1 = \hat{P}$).

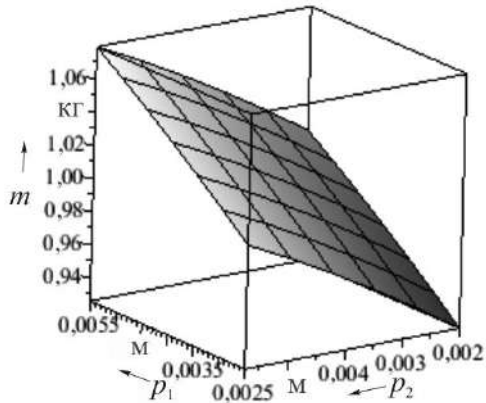


Рисунок 8 – Масса конструкции при разных сочетаниях варьируемых параметров, приведенная к массе конструкции при их номинальных значениях

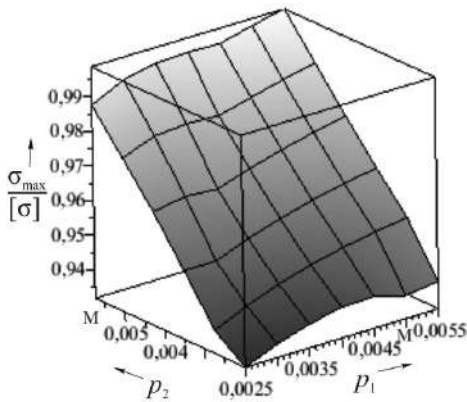


Рисунок 9 – Максимальные эквивалентные напряжения в конструкции, приведенные к допусжаем

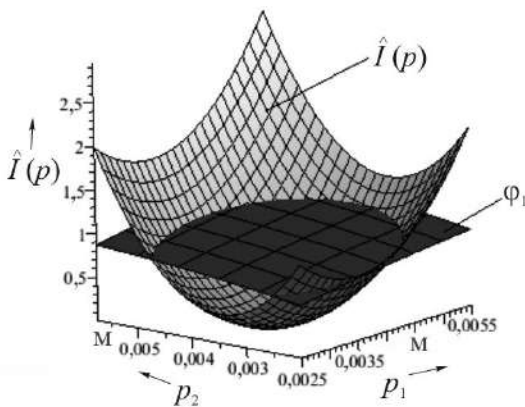


Рисунок 10 – Вид функций $\hat{I}(p)$ и φ_1

Естественно, что представленные примеры не исчерпывают всего разнообразия возможных постановок. Важно, что проиллюстрирована сама возможность таких постановок, причем в окрестности некоторой точки обобщенного параметрического пространства возможно использование аппроксимаций различной степени точности. Это, в свою очередь, обеспечивает возможность сведения различного типа задач к стандартным наборам задач математического программирования.

Многовариантные исследования для обоснования параметров конструктивных элементов вагона-платформы и режимов их нагружения при ходовых испытаниях. На основании оценки напряженного состояния конструкции вагона-платформы при действии вертикальных сил от расположенных на платформе грузов обоснована схема расположения испытательных грузов при ее ходовых испытаниях. Постановка задачи в таком разрезе требует выявления таких режимов нагружения, которые, во-первых, реализуемы на практике, а во-вторых, создают в силовых элементах вагона-платформы наиболее неблагоприятное напряженно-деформированное состояние по сравнению с другими вариантами нагружения. В случае удовлетворения требований по прочности в этом, наиболее неблагоприятном случае, требования по прочности, заложенные в нормативных документах, будут заведомо удовлетворены.

В первом варианте создание вертикальной нагрузки на вагон при испытаниях на статическую прочность осуществляется двумя грузами 20-футовыми имитаторами контейнеров массой 72 т [15]. В расчетной схеме данная нагрузка учитывалась приложением соответствующих усилий на поверхности фитинговых опор. Заданные кинематические граничные условия – закрепления от перемещений вдоль осей Ox , Oy и поворотов вокруг осей Ox и Oz в области расчетной модели, соответствующей опиранию на пятник (рисунок 11). Расчетная модель представлена на рисунке 12.

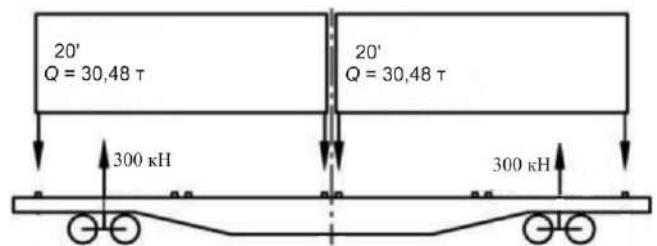


Рисунок 11 – Схема приложения нагрузок и ограничений



Рисунок 12 – Расчетная модель (1/4 вагона)

Для варьирования были выбраны толщины элементов хребтовой балки – наиболее ответственного элемента силовой структуры. Параметры p_1 и p_2 изменялись в диапазонах 6,5–15,5 и 9,5–24,5 мм соответственно. Построенные на базе расчетов поверхности отклика перемещений и напряжений представлены на рисунках 13, 14.

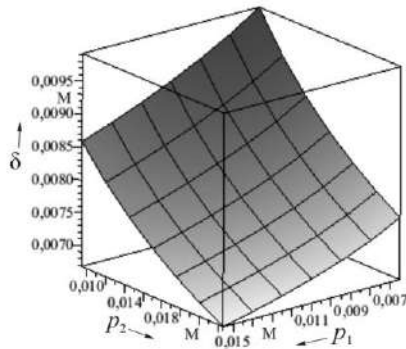


Рисунок 13 – Величины максимальных перемещений при варьировании параметров хребтовой балки вагона-платформы

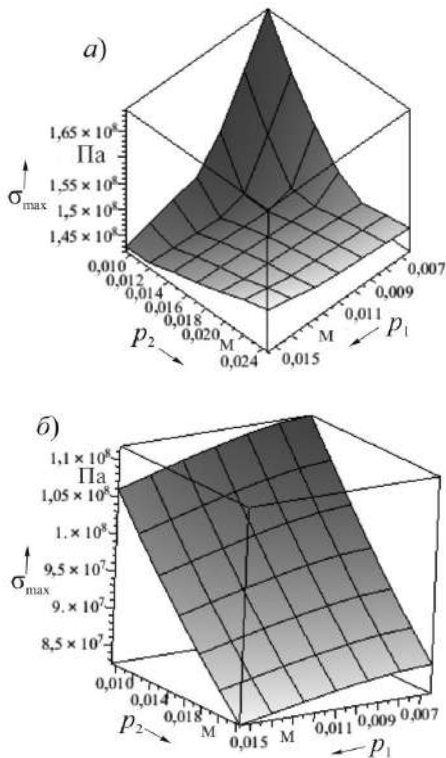


Рисунок 14 – Величины напряжений при варьировании параметров хребтовой балки вагона-платформы: а – максимальные напряжения; б – напряжения в точке А расчетной модели

В качестве примера оценки выведены картины распределения перемещений и напряжений в конструкции при некоторых сочетаниях изменяемых параметров (рисунок 15).

Второй вариант – размещение 40-футового контейнера (рисунок 16). Третий вариант напряженно-деформированного состояния – нагружение равномерной нагрузкой 60 т для среднего сечения продольных балок, распределенной на длине 4,3 м, соответствующей длине опорной поверхности тяжелой гусеничной техники (рисунок 17).

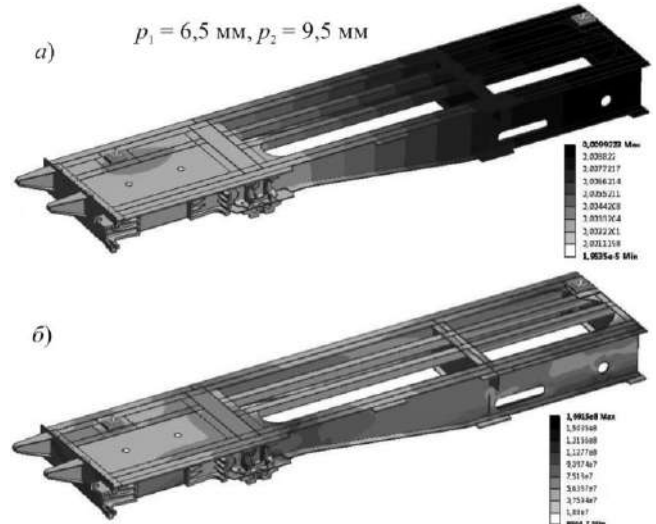


Рисунок 15 – Распределения перемещений (а) и напряжений (б) в конструкции при заданных значениях параметров в контролируемых точках поверхности отклика

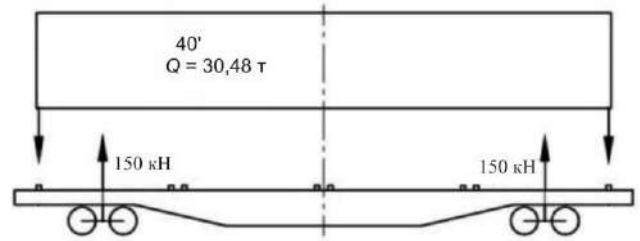


Рисунок 16 – Вариант нагружения № 2

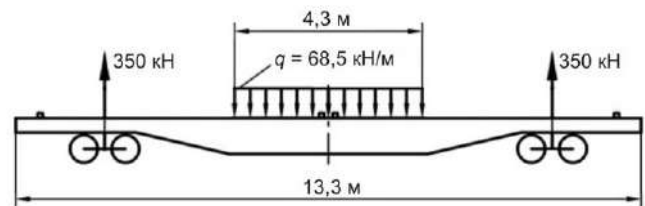


Рисунок 17 – Вариант нагружения № 3

С точки зрения поиска неблагоприятных сочетаний нагрузок в общем случае варьирования проектных параметров p_1 , p_2 построены целевые функции $\sigma^N = \sigma_{\Delta \max}(p_1, p_2, n_v)$. Здесь n_v – номер варианта нагружения. На рисунке 18 – график распределения функций $\sigma^N / \sigma_{\Delta \max}^*$.

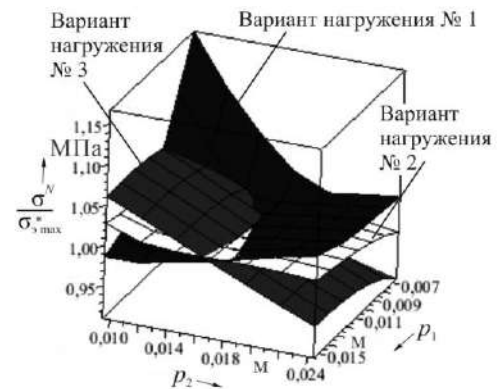


Рисунок 18 – Функции σ^N , приведенные к максимальным эквивалентным напряжениям при базовом сочетании варьлируемых параметров, в случае разных вариантов нагрузок

Видно, что наиболее неблагоприятным в интересующем диапазоне варьирования проектных параметров ($p_1 > 9 \cdot 10^{-3}$ м, $p_2 < 18 \cdot 10^{-3}$ м) является третий вариант нагружения. В остальной области варьирования параметров p_1, p_2 неблагоприятным является первый вариант нагружения. Можно заметить, что на вид функции σ^N в общем случае сильно влияет вариант нагружения. Тогда для всех исследованных сочетаний параметров p_1, p_2 можно определить наиболее неблагоприятный вариант нагружения. Итоговую функцию отклика можно построить из верхних лепестков отдельных поверхностей, представленных на рисунке 18. Таким образом, именно такой вариант нагружения необходимо реализовать при численных исследованиях и экспериментальных испытаниях вагона-платформы.

Построение поверхности отклика в ходе оптимизации силовой структуры грузового полувагона. При разработке схемы приложения нагрузок и ограничений предполагалось, что вагон загружен каменным углем «без шапки». Это моделировалось приложением сил распора к стенкам вагона и вертикальных сил от веса груза. Кинематические граничные условия заданы аналогичным образом, как и в предыдущей задаче, ограничение перемещений вдоль осей Oy, Oz и поворотов вокруг осей Ox и Oz в области опирания на пятник (рисунок 19).

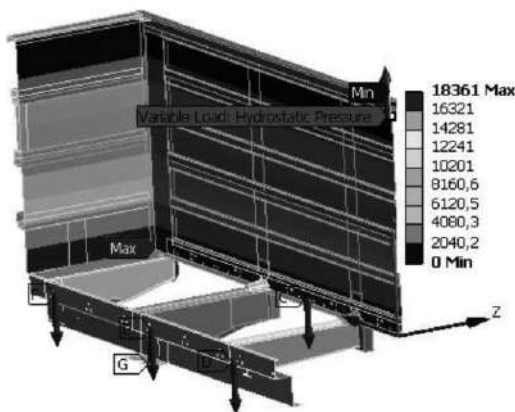


Рисунок 19 – Схема приложения нагрузок

Варьировались толщины стенок полувагона (группа параметров p_1) и элементов хребтовой балки (группа параметров p_2). На рисунках 20, 21 приведены распределения перемещений и напряжений в кузове полувагона при номинальных толщинах данных элементов конструкции.

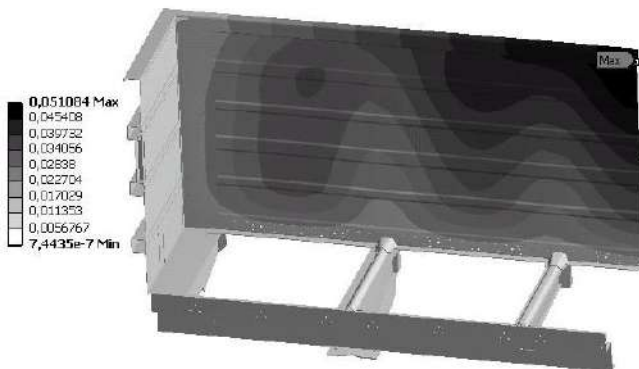


Рисунок 20 – Распределение перемещений в вагоне от заданных нагрузок при базовом сочетании параметров конструкции

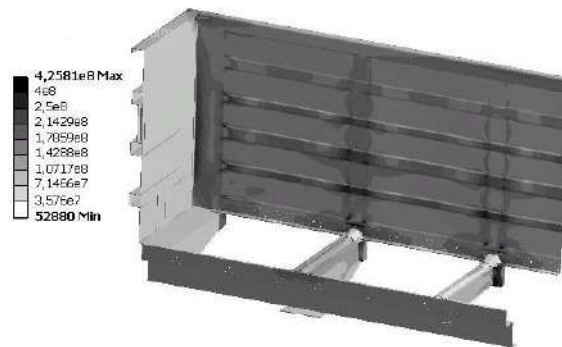


Рисунок 21 – Распределение напряжений в вагоне от заданных нагрузок при базовом сочетании параметров конструкции

На рисунках 22–24 представлены поверхности значений максимальных перемещений и напряжений, а также массы, соответственно при разных комбинациях варьируемых параметров, отнесенные к значениям данных характеристик при базовом сочетании параметров.

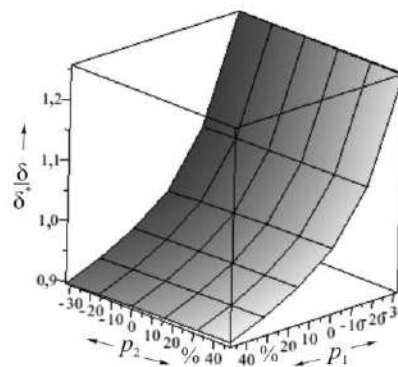


Рисунок 22 – Поверхность отклика перемещений на варьирование параметров силовой структуры полувагона

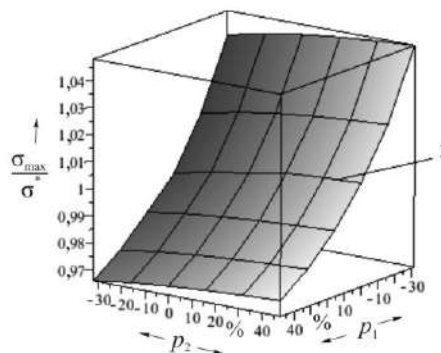


Рисунок 23 – Поверхность отклика напряжений на варьирование параметров силовой структуры полувагона

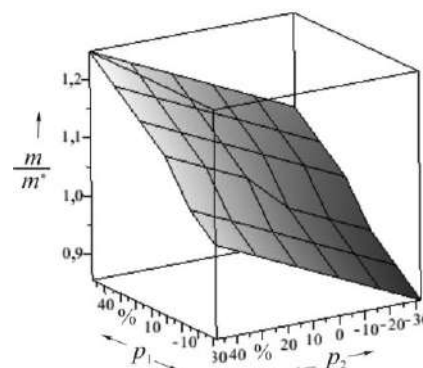


Рисунок 24 – Поверхность отклика массы

Как видно из представленных зависимостей, влияние группы параметров p_1 в окрестности базовых значений параметров (p_1^0, p_2^0) существенно выше, чем p_2 . Соответственно, варьирование p_1 дает больший отклик с точки зрения выигрыша по напряжениям и деформациям, притом что масса вагона изменяется незначительно вследствие варьирования p_1 . Таким образом, уменьшая p_2 так, что $f(p_1, p_2) = \text{const}$ (на рисунке 23 – линия γ), получаем возможность благоприятно изменять НДС полувагона.

Синтез конструктивных параметров для корпуса многоцелевого тягача МТ-Л. Одно из предъявляемых требований к конструкции плавающего тягача МТ-Л (рисунок 25) – сохранять целостность и выполнять свои

функции при погружении в воду с сохранением плавучести. Таким образом, чтобы вновь проектируемый или модернизируемый корпус отвечал данному требованию, моделирование нахождения тягача в воде целесообразно включать в перечень расчетных режимов. Разработанная схема нагружения включает действие гидростатического давления на обшивку корпуса с высотой его приложения, соответствующей уровню погружения тягача в воду от собственного веса, веса основных агрегатов и перевозимого груза. Ограничения заданы таким образом, что они отображают момент времени, когда гусеницы МТ-Л начинают отрываться от дна. Это достигнуто введением упругих элементов малой жесткости в местах крепления подвески.

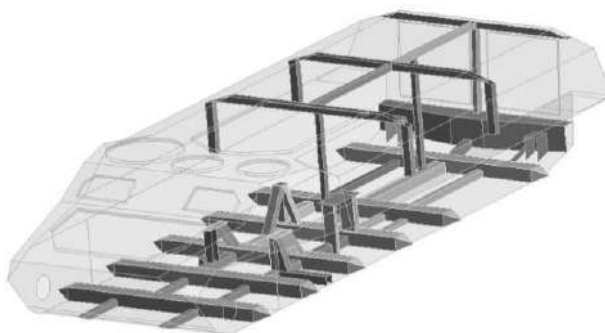
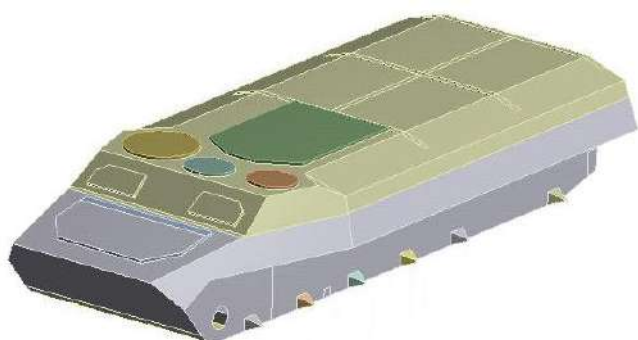


Рисунок 25 – Геометрическая модель многоцелевого тягача МТ-Л

В конечном итоге ставилась задача определения зависимости перемещений, эквивалентных напряжений по Мизесу и массы конструкции от толщин групп его конструктивных элементов. Группа параметров p_1 – толщина листов обшивки днища, которая варьировалась в пределах 2–6 мм с шагом 1, p_2 – толщина стенок поперечных швеллеров в нижней части рамы тягача, которая изменялась в диапазоне 2–10 мм с шагом 2 (рисунок 26).

На рисунке 27 представлены характерные распределения напряжений по Мизесу σ_e в корпусе МТ-Л.

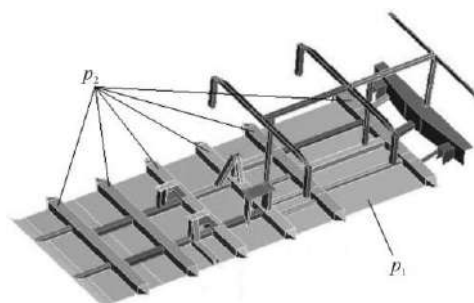


Рисунок 26 – Варьируемые параметры

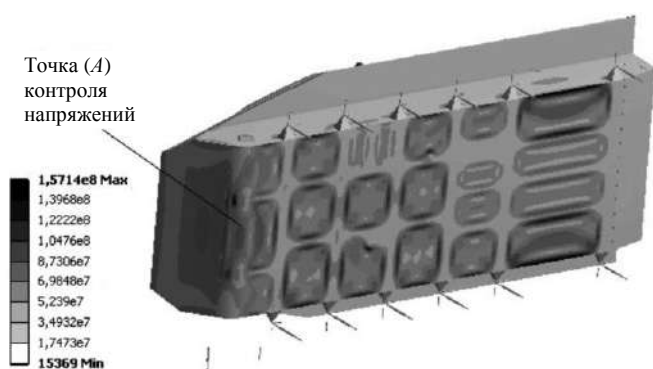


Рисунок 27 – Распределения компонент напряженно-деформированного состояния в корпусе МТ-Л при $p_1 = 2$ мм и $p_2 = 6$ мм

На рисунках 28–31 изображены соответственно поверхности отклика максимальных величин перемещений и напряжений, а также массы корпуса на варьирование параметров p_1, p_2 при действии приложенных внешних

нагрузок. Видно, что прогибы днища резко возрастают при уменьшении толщины днища. Еще более резко возрастают эквивалентные напряжения как в контролируемой точке днища, так и, особенно, максимальные по корпусу.

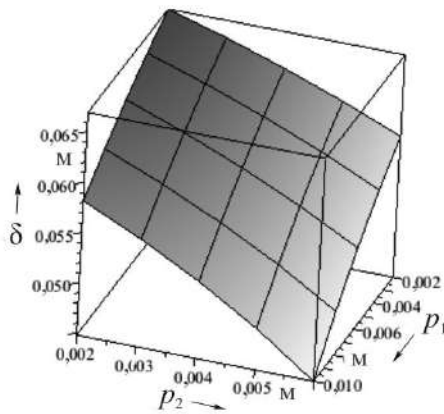


Рисунок 28 – Поверхность отклика максимальных перемещений

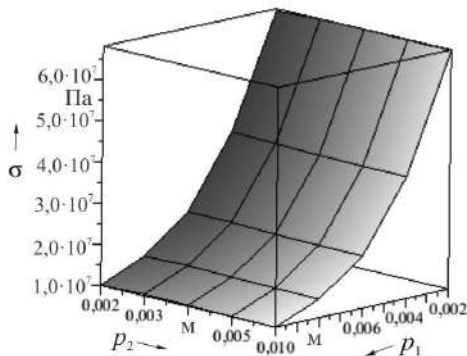


Рисунок 29 – Поверхность отклика: напряжения в некоторой точке на днище (см. рисунок 27)

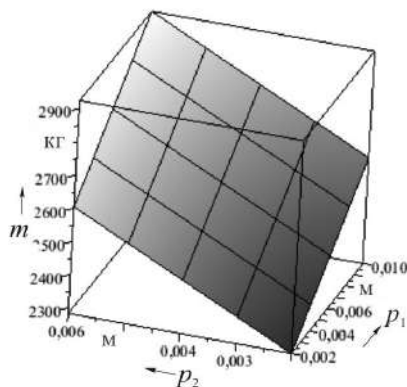


Рисунок 30 – Зависимость массы корпуса тягача от варьируемых параметров

В сочетании с линейной зависимостью массы корпуса МТ-Л от варьирования параметров получаем информацию для принятия проектных решений по обоснованию варьируемых параметров. Это в целом показывает, что данный подход распространяем на широкий класс подобных конструкций.

Заключение. Предложенная постановка задач синтеза имеет существенные отличия перед постановками, предложенными ранее [16–19]. Во-первых, это существенно более широкий массив информации, в пределах которого производится поиск рациональных решений. Во-вторых, в чисто «техническую» постановку задачи приводятся самые разнообразные компоненты из этапов производства, эксплуатации, ремонта и модернизации. Этим самым постановка задач синтеза распространяется на все этапы жизненного цикла изделий, а также на раз-

личные срезы (экономический, временной, организационный и т. п.) В-третьих, данная постановка является открытой для изменения, пополнения, уточнения. Это дает возможность в процессе изменения обстоятельств изменять все определяющие компоненты ограничений, критериев, корректировать тренды получаемых решений.

В дальнейшем планируется распространить предложенный подход на широкий класс изделий, представляющих собой сложные тонкостенные машиностроительные конструкции.

Список литературы

1 Вагоны грузовые крытые магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические условия : ГОСТ 10935–97. – Минск : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и спецификации. – 12 с. – (Межгосударственный стандарт).

2 НБ ЖТ ЦВ 01-98 «Вагоны грузовые железнодорожные. Нормы безопасности». – М. : ВНИИЖТ-ГосНИИВ, 1998. – 14 с.

3 Метод линеаризации поверхности отклика в задаче обоснования проектных параметров тонкостенных элементов машиностроительных конструкций / А. В. Литвиненко [и др.] // Вестник НТУ «ХПИ». Сер. : Проблемы механического привода. – 2014. – № 31(1074). – С. 88–98.

4 Линеаризация функции отклика прочностных и динамических характеристик тонкостенных конструкций на изменение толщины / Н. А. Ткачук [и др.] // Вестник НТУ «ХПИ». Сер. : Транспортное машиностроение. – 2014. – № 14(1057). – С. 138–154.

5 Чубань, М. А. Модели аппроксимации поверхности отклика в оптимизационных исследованиях машиностроительных конструкций / М. А. Чубань, Р. И. Шейченко, Р. В. Граборов // Вестник НТУ «ХПИ». Сб. науч. тр. Сер. : Новые решения в современных технологиях. – Харьков : НТУ «ХПИ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 46–51.

6 Ткачук, Н. А. Конечно-элементные модели элементов сложных механических систем: технология автоматизированной генерации и параметризованного описания / Н. А. Ткачук [и др.] // Механика и машиностроение. – 2006. – № 1. – С. 57–79.

7 Методологические основы расширенных прочностных и динамических исследований при испытаниях длиннобазовых платформ / А. Д. Чепурной [и др.] // Механіка та машинобудування. – 2015. – № 1. – С. 67–81.

8 Параметрические модели элементов сложных систем как основа построения специализированных расчетных систем / Ю. В. Веретельник // Механика и машиностроение. – 2003. – № 1, т. 2. – С. 3–7.

9 Васидзу, К. Вариационные методы в теории упругости и пластичности / К. Васидзу. – М. : Мир, 1987. – 542 с.

10 Лурье, А. И. Теория упругости / А. И. Лурье. – М. : Наука, 1970. – 940 с.

11 Лурье, А. И. Нелинейная теория упругости / А. И. Лурье. – М. : Наука, 1980. – 512 с.

12 Филин, А. П. Элементы теории оболочек / А. П. Филин. – Л. : Стройиздат. – 1975. – 258 с.

13 National Highway Traffic Safety Administration – U.S. Department of Transportation : FMVSS 220 Standard – School Bus Rollover Protection : TP-220-02 : Washington DC 20590, 1991.

14 Бондаренко, М. О. Дослідження напруженодеформованого стану каркасу кузова автобуса в умовах моделювання його тестового випробування на пасивну безпеку / М. О. Бондаренко // Вісник НТУ «ХПИ». Сер. : Машинознавство та САПР. – 2014. – № 29(1072). – С. 13–17.

15 Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества : РД 24.050.37.95. – М. : ГосНИИВ, 1995. – 102 с.

16 Myers, R. Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments. – 3rd ed. / R. Myers, D. Montgomery, C. Anderson-Cook. – New Jersey : John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 2009. – 1247 p.

17 **Anderson, M.** RSM simplified: optimizing progress using response surface methods for experiments / M. Anderson, P. Whitcomb. – New York : Productivity Press, a division of Kraus Productivity Organization, Ltd, 2005. – 289 p.

18 **Chinneck, J.** Practical optimization: a gentle introduction / J. Chinneck [Electronic resource] – Access mode: [www.sce.](http://www.sce.carleton.ca/faculty/chinneck/po.html)

[www.sce.](http://www.sce.carleton.ca/faculty/chinneck/po.html) – Date of access : 15.06.2017.

19 **Haslinger, J.** Introduction to Shape Optimisation: Theory, Approximation and Computation / J. Haslinger, R. Makinen. – Philadelphia : SIAM, 2003. – 273 p.

Получено 01.12.2017

A. D. Chepurnoy, V. I. Senko, S. V. Makeev, A. V. Litvinenko, R. I. Sheychenko, R. V. Graborov, N. A. Tkachuk, M. A. Bondarenko. Solution of tasks of the analysis and synthesis of difficult spatial thin-walled designs.

The new approach to solve the problems of analysis and synthesis of complex spatial thin-walled structures is proposed. It is based on generalized parametric modeling of complex mechanical systems. Generalized parameters are structure, design and technological solutions for the structures, design parameters and operating conditions. Beside the solution of problems of a single analysis, and multivariate studies, and studies of rational design and technological solutions are provided. In addition, it is possible to justify parameters of finite element models for accurate calculation of stress-strain state by the finite element method. Also, it becomes possible to model boundary conditions and loading effort, not only for one, but for a number of similar designs. As the result a tool for quick and accurate solutions of totality of tasks justification of design solutions for complex spatial thin-walled structures by strength and stiffness criteria is created.

ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

УДК 656.225

О. С. ЧАГАНОВА, старший преподаватель, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПНЕВМООБОЛОЧЕК ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ШТУЧНЫХ ГРУЗОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ И АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ

Описана методика расчета стоимости доставки одной тонны штучного груза, перевозимого с использованием ранее широко не применявшегося технического средства крепления груза – пневмооболочки. Определяется экономическая целесообразность применения пневмооболочек по сравнению со стандартным способом крепления штучных грузов при их перевозке железнодорожным и автомобильным транспортом.

В последнее время темпы набирают процессы глобализации мировой экономики. В этой связи всё возрастающее значение приобретают логистические подходы к управлению производством и товарными потоками, которые являются центральным звеном конкурентоспособности практически любого предприятия, планирующего работать на высоком уровне и в Республике Беларусь, и в международной сфере [1]. Штучные грузы перевозятся как во внутривнутриреспубликанском сообщении, так и в международном. В перевозке участвуют различные виды транспорта, такие как железнодорожный, автомобильный, морской. В настоящее время всё большее значение приобретает обеспечение безопасной, сохранной и своевременной доставки груза. Зачастую стоимость такой перевозки отходит на второй план. Отправитель готов заплатить за дополнительные и более дорогостоящие крепежные средства или дополнительные операции с грузом в пути следования (такие как запрет роспуска с горки, большее число растяжек, обвязок и т. д.), чтобы обеспечить доставку груза в целости и сохранить деловую репутацию как надежного поставщика. Существует широкий спектр различных специализированных средств крепления ценных грузов, разработанных в каждом случае для конкретного груза и условий перевозки [2]. Одним из таких средств крепления являются пневмооболочки, ранее широко не использовавшиеся и внедряемые в настоящее время на железной дороге Республики Беларусь. Экономический эффект применения новых средств крепления не всегда очевиден и выражен в количественном отношении. В связи с этим возникает необходимость определения стоимости применения новых технических средств и экономического эффекта от этого. Целью данной работы является определение экономических условий эффективного применения пневмооболочек для крепления штучных грузов при перевозке железнодорожным и автомобильным транспортом.

Основой для разработки приведенной в статье методики определения стоимости перевозки штучного груза послужила методика описанная в [3, 4]. Расчет стоимости производится в условных единицах. Стоимость доставки 1 тонны груза по железной дороге определяется по формуле

$$E = E_{\text{упак}} + E_{\text{пак}}^{\Phi} + E_{\text{крепл}} + E_{\text{прр}} + E_{\text{жд}} + E_{\text{пот}}, \quad (1)$$

где $E_{\text{упак}}$, $E_{\text{пак}}^{\Phi}$, $E_{\text{крепл}}$, $E_{\text{прр}}$, $E_{\text{жд}}$, $E_{\text{пот}}$ – затраты соответственно на упаковку, формирование пакета, крепления, погрузочно-разгрузочные операции, перевозку груза, связанные с потерями груза при перевозке, у. е.

Затраты на тару и упаковку зависят от ее вида и определяются ее стоимостью в каждом отдельном случае. Если стоимость тары и упаковки входит в стоимость готовой продукции, затраты на нее определяются по формуле

$$E_{\text{упак}} = \frac{c_{\text{упак}}}{m_{\text{гр}}^{\text{нетто}}}, \quad (2)$$

где $c_{\text{упак}}$ – стоимость упаковки и тары одного пакета; определяется стоимостью упаковочных материалов, входящих в упаковку, и затратами на ее изготовление, у. е.; $m_{\text{гр}}^{\text{нетто}}$ – масса груза нетто в одном пакете, т.

Важным элементом в затратах на перевозку груза является его крепление в подвижном составе. Затраты на средства крепления для одной тонны груза определяются по формуле

$$E_{\text{крепл}} = \frac{c_{\text{крепл}}}{m_{\text{гр}}^{\text{нетто}} b}, \quad (3)$$

где $c_{\text{крепл}}$ – стоимость креплений или материалов, из которых они изготовлены, у. е.;

Начальной операцией перевозочного процесса является укладка груза в тару или формирование пакета. Затраты на эти операции с одной тонной груза определяются по формуле

$$E_{\text{пак}}^{\Phi} = \frac{P_{\text{раб}} c_{\text{чел}} + t c_{\text{маш}}}{m_{\text{гр}}^{\text{нетто}}}, \quad (4)$$

где $P_{\text{раб}}$ – затраты труда на формирование и расформирование одного пакета, чел. ч; $c_{\text{чел}}$ – тарифная ставка 1 чел. ч, у. е.; t – время работы машины на формирование одного пакета, ч; $c_{\text{маш}}$ – стоимость одного часа работы пакетформирующей машины, у. е.

Определение затрат на погрузочно-разгрузочные операции требует установления по логистической схеме доставки груза количества операций с грузом на всех этапах, способа выполнения этих работ, типа перегрузочного оборудования. В стоимость этого вида работ входят затраты на заработную плату обслуживающего персонала, топливо, электроэнергию, отчисления на ремонт и амортизацию машин. Тогда затраты на погрузочно-разгрузочные операции с 1 тонной груза определим по формуле

$$E_{\text{прр}} = \frac{n_{\text{прр}} c_{\text{прр}}}{m_{\text{гр}}}, \quad (5)$$

где $n_{\text{ппр}}$ $n_{\text{ппр}}$ – количество грузовых операций с одним пакетом на всём этапе доставки; $c_{\text{ппр}}$ – стоимость одной грузовой операции с пакетом, у. е.; $m_{\text{гр}}$ – масса одного грузового места в единице подвижного состава, т.

Затраты на перевозку одной тонны груза вместе с тарой и упаковкой по железной дороге определяются по формуле (6). Также необходимо учесть стоимость подачи и уборки вагонов на подъездные пути:

$$E_{\text{жд}} = \frac{c_{\text{жд}} + E_{\text{пу}}}{m_{\text{гр}}b}, \quad (6)$$

где $c_{\text{жд}}$ – стоимость доставки партии груза в крытом универсальном вагоне или контейнере по железной дороге, у. е.; $E_{\text{пу}}$ – стоимость подачи-уборки вагона на подъездной путь отправителя или получателя.

В процессе перевозки зачастую происходит порча груза из-за повреждения упаковки или креплений при перегрузке с одного вида транспорта на другой в соответствии с логистической схемой доставки грузов, осуществлении маневровых работ и т. д. Соответственно расходы, связанные с несохранными перевозками и отнесенные на 1 т груза определяются по формуле

$$E_{\text{пот}} = 0,01E_{\text{гр}}p, \quad (7)$$

где $E_{\text{гр}}$ – стоимость 1 т груза, у. е.; p – потери, зависящие от способа доставки и рода груза, %.

При перевозке груза автотранспортом следует учитывать некоторые особенности. Расчет нескольких параметров аналогичен варианту перевозки по железной дороге. Так, стоимость упаковки определяется по формуле (2), стоимость формирования пакета – по формуле (4), стоимость креплений – по формуле (3), стоимость погрузочно-разгрузочных работ определяется по формуле (5), стоимость потерь груза в процессе доставки – по формуле (7). Расчет стоимости доставки грузов автотранспортом выполняется на основании зависимостей, выведенных И. А. Лебедевой [5] с помощью данных, собранных на автотранспортных предприятиях. Так, стоимость перевозки одной тонны груза во внутрисубъектском сообщении определяем по формуле

$$E_{\text{авто}} = 0,8009I_{\text{пер}}^{-0,388}I_{\text{пер}}. \quad (8)$$

Для международного сообщения стоимость перевозки одной тонны груза определяем по формуле

$$E_{\text{авто}} = 0,1697I_{\text{пер}}^{-0,161}I_{\text{пер}}. \quad (9)$$

Тогда стоимость доставки 1 тонны груза автотранспортом определяется по формуле

$$E = E_{\text{упак}} + E_{\text{пак}}^{\Phi} + E_{\text{крепл}} + E_{\text{ппр}} + E_{\text{авто}} + E_{\text{пот}} + E_{\text{дор}}, \quad (10)$$

где $E_{\text{авто}}$, $E_{\text{дор}}$, – затраты на перевозку груза автотранспортом, связанные с использованием платных дорог при доставке груза, у. е.

Капитальные вложения на вагон и автомобиль включены в тариф на перевозку по железной дороге и автотранспортом соответственно. Склады и погрузочно-разгрузочные машины рассматриваем как существующие.

Внедрение современных способов размещения и крепления грузов в кузове транспортного средства, более надежно обеспечивающих сохранность грузов и защиту окружающей среды, является важным направлением развития перевозочного процесса [6]. В соответствии с приведенными выше выражениями была определена стоимость перевозки одной тонны штучного груза по железной дороге в вагоне и контейнере с использованием стандартного способа крепления и с применением воздушных пакетов [7].

На рисунках 1 и 2 приведены зависимости стоимости перевозки 1 тонны груза в железнодорожном вагоне и в контейнере соответственно от расстояния перевозки при применении существующего варианта погрузки и крепления груза с использованием деревянных щитов, брусков и с применением пневмооболочек.

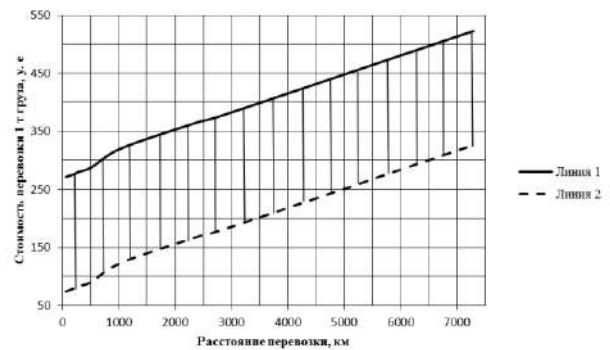


Рисунок 1 – Стоимость перевозки 1 тонны груза в железнодорожном вагоне с использованием различных средств крепления груза: линия 1 – бруски, щиты деревянные; линия 2 – пневмооболочки

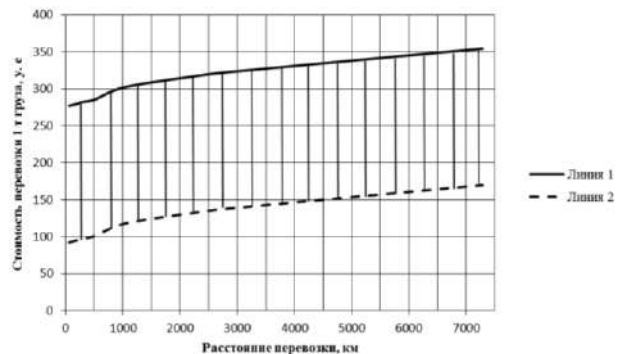


Рисунок 2 – Стоимость перевозки 1 тонны груза в контейнере с использованием различных средств крепления груза: линия 1 – бруски, щиты деревянные; линия 2 – пневмооболочки

При анализе результатов было получено, что, несмотря на то, что стоимость пневмооболочек выше, чем обычных средств крепления, стоимость перевозки 1 тонны штучного груза с их помощью ниже, чем при использовании деревянных брусков и щитов. Это достигается за счет того, что при использовании пневмооболочек сохранность штучных грузов улучшается и, как следствие, снижается уровень потерь груза в пути следования. Заштрихованная область на рисунках 1, 2 соответствует области эффективности использования пневмооболочек для транспортировки штучных грузов.

На рисунке 3 приведена зависимость стоимости перевозки 1 тонны груза в контейнере и вагоне по железной дороге от расстояния перевозки при использовании предлагаемого способа крепления с помощью пневмооболочек.

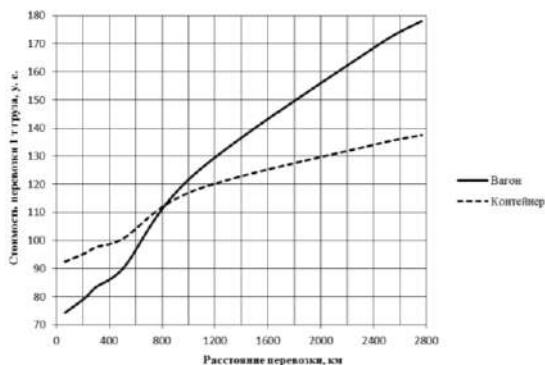


Рисунок 3 – Стоимость перевозки 1 тонны груза в железнодорожном вагоне и контейнере при креплении груза с помощью пневмооболочек

Сравнение стоимости перевозки в вагоне и контейнере штучного груза при использовании для его крепления в транспортном средстве пневмооболочек показывает, что при перевозке на расстояние до 850 км использование контейнеров является экономически невыгодным с точки зрения стоимости доставки. Однако использование контейнеров для перевозки штучного груза обеспечивает его лучшую сохранность, облегчает его перегрузку между различными видами транспорта (например, с железнодорожного на морской), а также уменьшает количество грузовых операций непосредственно с ценным штучным грузом.

Также был произведен расчет перевозки 1 тонны груза автотранспортом для сравнения с железнодорожным. На рисунке 4 приведено сравнение стоимости доставки 1 тонны штучного груза автотранспортом и железной дорогой при использовании пневмооболочек.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод о том, что при использовании предлагаемого способа крепления с помощью пневмооболочек использование автотранспорта становится экономически невыгодным, когда расстояние перевозки превысит 150 км. Эти результаты не противоречат данным, приведенным в таблице 5.5 [1].

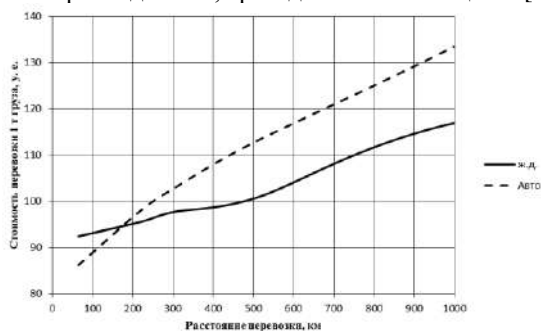


Рисунок 4 – Стоимость перевозки 1 тонны груза железнодорожным и автомобильным транспортом при использовании пневмооболочек

На рисунке 5 приведены зависимости стоимости перевозки 1 тонны штучного груза по железной дороге и автотранспортом с применением для крепления груза деревянных брусков, щитов и пневмооболочек.

Получено 14.10.2017

O. S. Chaganova. Economic efficiency of air-bags application in piece cargo transportation by railway and automobile transport.

There is described the computation method of piece cargo delivery cost. The cargo is transported using the previously not widely used technical mean for load securing as air-bags. It is determined the economic benefit of the air-bags using in comparison with the standard piece cargo fastening method during transportation cargo by rail and road transport. In this work, a method is described for calculating the cost of delivery of one ton of piece cargo transported using the previously widely used technical means of securing cargo of the air shell. It is determined the economic feasibility of the use of pneumatic shells in comparison with the standard method of fastening piece cargo when transporting them by rail and road.

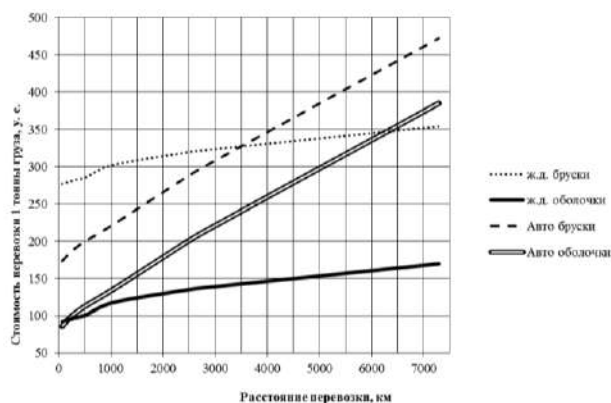


Рисунок 5 – Стоимость перевозки 1 тонны груза железнодорожным и автомобильным транспортом при использовании существующего способа крепления брусками и пневмооболочек

Анализируя все полученные результаты, можно сделать вывод о том, что перевозка ценного штучного груза в контейнерах по железной дороге с использованием в качестве креплений пневмооболочек является по сравнению с остальными рассмотренными вариантами перевозки наиболее эффективным с точки зрения как стоимости транспортировки, так и сохранности перевозимого груза.

Список литературы

- 1 **Еловой, И. А.** Интегрированные логистические системы доставки ресурсов: теория, методология, организация / И. А. Еловой, И. А. Лебедева. – Минск : Право и экономика, 2011. – 461 с.
- 2 **Коломникова, О. С.** Механические особенности крепления штучных и тарно-упаковочных грузов в кузове транспортного средства / О. С. Коломникова // Механика. Научные исследования и учебно-методические разработки : междунар. сб. науч. тр. – Гомель: БелГУТ, 2007. – Вып. 1. – С. 26–34.
- 3 **Пакетные перевозки грузов / П. К. Лемещук [и др.] ; под общ. ред. П. К. Лемещука.** – М. : Транспорт, 1979. – Гл. 12, 13. – С. 229–259.
- 4 **Еловой, И. А.** Эффективность логистических транспортно-технологических систем (теории и методы расчетов) : в 2 ч. / И. А. Еловой. – Гомель : БелГУТ, 2000. – Ч. 2. – 245 с.
- 5 **Лебедева, И. А.** Параметры основных логистических схем доставки грузов во внутривнутриреспубликанском сообщении / И. А. Лебедева // Рынок транспортных услуг (проблемы повышения эффективности) : междунар. сб. науч. тр. / Белорус. гос. ун-т тр-та ; редкол. В. Г. Гизатуллина (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2012. – Вып. 5. Ч. 1. – С. 174–183.
- 6 **Чаганова, О. С.** Анализ крепления штучных грузов с помощью пневматических пакетов / О. С. Чаганова // Вестник Белорусского государственного университета транспорта : Наука и транспорт. – Гомель, 2009. – № 1. – С. 38–41.
- 7 **Технические условия размещения и крепления грузов.** Приложение 3 к Соглашению о международном железнодорожном грузовом сообщении (СМГС) : по состоянию на 1 июля 2015 г. – Минск : Амалфея, 2015. – 704 с.

ПОДГОТОВКА КАДРОВ

УДК 665.7:378.1

Ю. И. КУЛАЖЕНКО, доктор физико-математических наук, А. К. ГОЛОВНИЧ, доктор технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ПЕРСПЕКТИВЫ ОТКРЫТИЯ В БЕЛОРУССКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ ТРАНСПОРТА НОВОЙ СПЕЦИАЛЬНОСТИ «ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕПРОДУКТООБЕСПЕЧЕНИЯ»

Рассматриваются возможности и условия открытия в Белорусском государственном университете транспорта достаточно востребованной специальности по эксплуатации объектов нефтепродуктообеспечения. В настоящее время проблемы логистики нефтепродуктов в Республике Беларусь становятся особо актуальными из-за увеличения объема поставки и переработки нефти, а также количества потребителей продуктов нефтепереработки. Инженерные кадры соответствующего профиля в настоящее время в республике не подготавливаются.

В условиях увеличения потребности в продуктах переработки углеводородного сырья, расширения их товарной номенклатуры, повышения требований к безопасной перевозке, хранению и выдаче нефтепродуктов в настоящее время достаточно актуальной становится проблема своевременного и качественного обеспечения нефтепродуктами всех потребителей народного хозяйства в рыночных условиях. Потребителями светлых и темных нефтепродуктов являются АЗС, АЗК, АГЗС, предприятия промышленности, сельского хозяйства, энергетики, нефтехимии, аэропорты. Наличие сложной и специфической инфраструктуры устройств, зданий и сооружений, обеспечивающих транспортировку и хранение нефтепродуктов, требует высокой квалификации и узкопрофильных знаний у специалистов по организации и обслуживанию всей логистической цепи продвижения нефтепродуктов от нефтеперерабатыва-

ющих заводов к потребителям (рисунок 1).

В связи с этим возникает настоятельная необходимость в специалистах соответствующего профиля. В Республике Беларусь подготовка кадров нефтепродуктообеспечения не производится. Отдельные дисциплины данного профиля читаются в БГТУ, БНТУ, Полоцком университете. Современной лабораторной базой и специалистами, выполняющими анализ нефтепродуктов, обладает БелНИПИнефть. Инженерные кадры в области нефтепродуктообеспечения подготавливаются в Российском государственном университете нефти и газа им. И. М. Губкина, Институте дополнительного профессионального образования Уфимского государственного нефтяного технического университета, а также Центрах учебной подготовки кадров нефтепродуктообеспечения (Екатеринбург и некоторые другие).

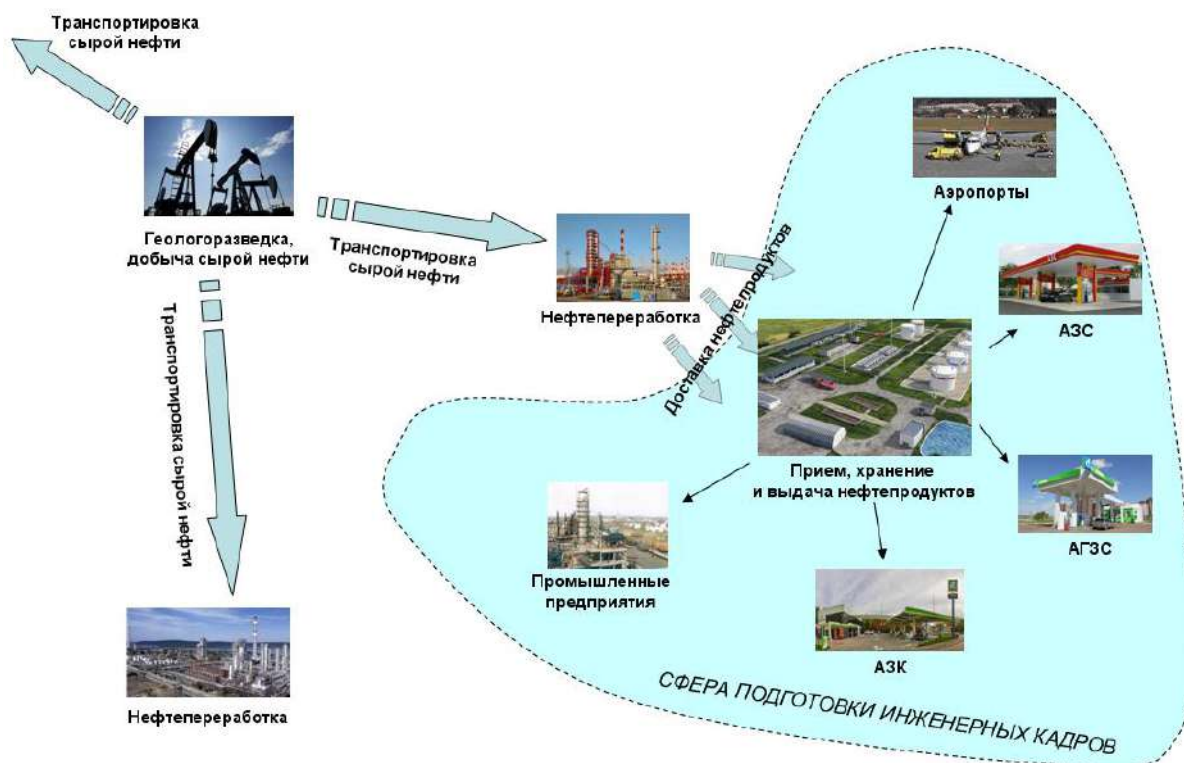


Рисунок – Общая схема добычи, переработки нефти и доставки нефтепродуктов потребителям

Системность подготовки специалистов по эксплуатации объектов нефтепродуктообеспечения предполагает обучение по целому комплексу дисциплин технического, технологического и транспортного направлений:

- логистика доставки нефтепродуктов с НПЗ;
- организация работы складов хранения нефтепродуктов;
- взаимодействие железнодорожного и автомобильного транспорта при доставке нефтепродуктов;
- погрузо-разгрузочная и складская техника при организации работ с нефтепродуктами;
- безопасность работ при транспортировке, приеме, хранении и выдаче нефтепродуктов;
- информационные технологии нефтепродуктообеспечения;
- проектирование инфраструктуры объектов нефтепродуктообеспечения;
- техническая эксплуатация и ремонт автомобильного транспорта, обеспечивающего перевозку нефтепродуктов;
- определение качества нефтепродуктов;
- комплексная механизация и автоматизация погрузо-разгрузочных и складских работ с нефтепродуктами.

Роль транспорта в данном процессе представляется исключительно важной. Основными видами транспорта, которые выполняют перевозки нефтепродуктов, являются автомобильный и железнодорожный. Ритмичность и бесперебойность доставки нефтепродуктов на склады потребителей или с выдачей по прямому варианту определяют качество транспортного обслуживания. В БелГУТе работают специалисты, имеющие большой научный, педагогический и практический опыт в решении сложных задач взаимодействия различных видов транспорта, разработки генеральных схем развития железнодорожных и транспортных узлов Республики Беларусь.

Техническое обслуживание и ремонт специализированного подвижного состава, обеспечивающего перевозки нефтепродуктов, требует особой подготовки специалистов, обладающих знаниями физико-химических свойств перевозимых грузов, требований нормативных документов по текущему содержанию вагонов и автомобилей, которая может осуществляться по соответствующим скорректированным учебным программам и дисциплинам в БелГУТе.

Получено 10.11.2017

Yu. I. Kulazhenko, A. K. Golovnich. Opening in Byelorussian state university of transport a new speciality «Operation of objects petroleum processing».

The opportunities and conditions of opening at the Byelorussian state university of transport rather claimed speciality on operation of objects petroleum processing. Now logistic problems of petroleum in Republic of Belarus become especially urgent because of increase standard item and processing of petroleum, and also quantity of the consumers products of oil processing. The engineering staff of the appropriate structure now in republic is not prepared.

Подготовка инженерных кадров в БелГУТе по организации нефтепродуктообеспечения потребителей народного хозяйства может быть выполнена после прохождения профильных курсов повышения квалификации профессорско-преподавательского состава, привлечения специалистов и лабораторной базы БелНИПИнефть. В подразделениях областных предприятий по обеспечению нефтепродуктами «Белоруснефти» работают высокопрофессиональные специалисты, обладающие соответствующими опытом и знаниями, которые также могут привлекаться к учебному процессу и работать в БелГУТе по совместительству.

Учитывая узкопрофильность, необходимо гарантировать трудоустройство выпускников, будущих специалистов в области эксплуатации объектов нефтепродуктообеспечения. Формирование контингента студентов по необходимым специальностям следует производить исходя из целевого набора по направлениям предприятий, организаций, которые будут гарантировать через 4 года трудоустройство выпускников независимо от текущей конъюнктуры спроса предложения на специалистов данного профиля. Обращает на себя внимание тот факт, что интерес к данным специалистам в Беларуси имеют частные компании (АЗС, АЗК, АГЗС), которых уже сейчас насчитывается более 800, и динамика их роста положительна. Они также готовы принимать участие в формировании общей заявки на подготовку специалистов нефтепродуктообеспечения.

Таким образом, общая тенденция такова, что в ближайшие годы спрос на данных специалистов будет возрастать. Проблематика транспорта в подготовке инженерных кадров по нефтепродуктообеспечению достаточно обширна и определена (логистика доставки с НПЗ, внутренний транспорт на предприятиях, проектирование, техническая эксплуатация и ремонт, взаимодействие различных видов транспорта). Поэтому инженерные кадры по эксплуатации объектов нефтепродуктообеспечения могут выпускаться в БелГУТе при соответствующей подготовке рабочих программ и учебных планов дисциплин, подборе квалифицированных кадров ППС и привлечении специалистов-практиков, а также использования других лабораторных баз как филиалов университета.

УДК 811.112.2

Н. А. ГРИШАНКОВА, кандидат филологических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОРГАНИЗАЦИЯ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА КАК СРЕДСТВО ИНТЕНСИФИКАЦИИ ОБУЧЕНИЯ ЧТЕНИЮ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Изучены некоторые возможности повышения эффективности обучения чтению в неязыковых вузах, связанные с попыткой рациональной организации учебного материала для чтения с непосредственным пониманием на смысловом уровне восприятия текста. Проведен сравнительный анализ учебных единиц, представляющих собой единый смысловой комплекс на основе синтаксической спаянности их компонентов и выполняющих в языке определенную коммуникативную функцию. Приведены модели синтаксической структуры, распространенной в научно-технической литературе по железнодорожным специальностям, которые являются одним из видов свободных словосочетаний современного немецкого языка и выступают как готовые элементы, выражающие единое смысловое целое при чтении текста. Показано, каким образом устанавливаются ассоциативные связи между опорным словом и его компонентами.

В настоящее время сформировался социальный заказ на глубокое знание иностранного языка, наблюдаются такие тенденции иноязычного образования, как рост статуса иностранного языка (в первую очередь английского), повышение мотивации его изучения, функциональная направленность обучения языкам, изменение целей.

Государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования требует учета профессиональной специфики при обучении иностранному языку, его нацеленности на реализацию задач будущей профессиональной деятельности выпускников.

Специалист должен владеть языком (языками) на уровне, позволяющем активно использовать его в сфере профессиональной деятельности. Для достижения положительного результата важно, чтобы изучение языка приобрело профессиональный статус. В практике обучения в неязыковом вузе всё более широкое применение находит понятие профессиональный иностранный язык, разрабатываются новые подходы и технологии обучения.

При современном развитии науки и техники научно-техническая информация приобретает всё большее значение. В настоящее время уже не ставится вопрос о необходимости знания иностранного языка специалистами, а лишь о том, как скорее научиться их пользоваться иностранным языком в практических целях.

Одной из целей изучения иностранного языка на второй ступени обучения является выработка навыков чтения, обеспечивающих достаточно быстрое восприятие и правильное понимание научной литературы. Само собой разумеется, что методы, а тем более методические приемы для достижения этой цели, могут быть разнообразными [1, 3, 7, 8, 9].

При чтении и переводе иностранной литературы очень важны глубина проникновения в смысл читаемого и логико-смысловое восприятие текста. Понимание текста определяется как лингвистическими, так и экстралингвистическими факторами. К ним относится зависимость понимания от его информационной насыщенности, композиционно-смысловой структуры, языковых трудностей, от направленности внимания при восприятии текста, профессиональной подготовки и индивидуальных особенностей чтеца. Развитие интереса находится в неразрывной связи с тем, как преподава-

тель актуализирует содержание учебного материала. Неинтересное может стать интересным в зависимости от актуальности для обучающихся тех или иных знаний. Учебные мотивы играют здесь первостепенную роль.

Чтобы определить социальные и внутренние мотивы для обучающихся, например, второй ступени на занятиях по иностранному языку, возникла необходимость в осуществлении социолого-психологического эксперимента. При его подготовке в течение ряда семестров нами проводился опрос соискателей, магистрантов, аспирантов о том, как они читают оригинальную (неадаптированную) литературу, готовясь к написанию реферата, к сдаче кандидатского экзамена, и что при этом вызывает у них интерес. Полученные результаты опроса мотивов чтения сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Мотивы способов чтения

Способы чтения	Мотивы	Количество аспирантов, магистрантов, соискателей, %
Оригинальная (неадаптированная) литература	Нравится немецкий язык	37,5/60
	Хочу узнать информацию по своей специальности, издаваемую в немецко-говорящих странах	20/23,4
Адаптированная литература	Хочу больше знать, чтобы стать конкурентоспособным специалистом	17,5/8,3
	Лучше понимается содержание	11,7/5
	Труден язык неадаптированной литературы	8,3/3,3
	Надо выполнять задания	3/0
	Не успеваю	2/0

В опросе приняли участие 120 человек. В таблице 1 в числителе приводятся данные, полученные в начале учебного года, а в знаменателе – в конце учебного года. Данные указываются в процентах. Мотивы даются в порядке убывания их частотности.

Как показывают приведенные в таблице 1 данные, не нашли отражения мотивы «неинтересно» и «не вижу необходимости», а группа аспирантов, магистрантов, соискателей, не читающих оригинальную (неадаптированную) литературу, рекомендованную для индивидуального чтения (мотивы «надо выполнять задания», «не успеваю»), малочисленна и появляется только в начале учебного года. Эти факты убедительно подтверждают,

что чтение как вид речевой деятельности увлекает большинство обучаемых и побуждает их к определенным умственным действиям. Ведущим мотивом является не внешнее побуждение со стороны преподавателя, а познавательный интерес. Интерес к изучаемому языку и содержательная сторона текстов являются основными внутренними мотивами чтения. Профессиональный мотив «хочу узнать информацию по своей специальности, издаваемую в немецкоговорящих странах» является ведущим для аспирантов, магистрантов, соискателей.

К концу второго семестра уровень и характер мотивации меняются с изменением способа чтения. С ростом группы читающих в оригинале увеличивается процент положительных мотивов.

Уровень мотивации коррелирует также с уровнем умений и навыков обучаемых, с качеством полученных знаний. Мотив «надо выполнять задание» к концу второго семестра равен нулю.

Основная задача организации процесса чтения иностранной литературы в вузе – не только поддержание интереса, но и пробуждение интереса к «неинтересному», к трудному с точки зрения обучающихся, переход отрицательных мотивов в положительные.

Если сравнить количество читавших в оригинале и в адаптации в начале и в конце учебного года, то заметно значительное увеличение читавших в оригинале к концу второго семестра, а вместе с тем и возрастание интереса к чтению. Следовательно, оригинальность и языковая доступность также являются важнейшими критериями отбора литературы для чтения по специальности на иностранном языке, влияющими на мотивацию чтения и развитие интереса к нему.

Дальнейшие исследования показывают, что развитие интереса тесно связано с проблемой организации обучения чтению между индивидами в учебной группе, отношениями обучающихся к личности педагога. Учебный интерес во многом зависит от умения обучающегося активизировать учебный процесс и актуализировать содержание учебного материала.

Работа с иноязычным текстом в средней школе и в вузе предполагает изложение его главного смысла. И на занятии, и на экзамене по языку преподаватель задает вопросы типа «В чём заключается главный смысл текста? Какова его основная идея?».

Всякий текст представляет собой диалектическое единство содержания и формы. Адаптация может затрагивать как одну из этих сторон, так и обе. Цель изменений в смысловой структуре текста при адаптации – уменьшение его объема [2, 14–18].

В художественном произведении подобное сокращение может распространяться на сюжетную линию, эпизод, описание и т. п.

При адаптации научной прозы подход должен быть иным: с учетом смысловой структуры научного текста.

Следствием изучения языка с точки зрения его динамики в акте коммуникации явилось то, что предложение уже не рассматривается как функциональная единица самого высокого уровня; ею является целый текст.

Исходя из единства языка и мышления, современные исследователи пытаются соотносить единицы речи с определенными единицами мышления. Принято считать, что в предложении находит свое выражение суждение. Какой единице мышления соответствует целый текст, единого мнения среди ученых пока нет. Перспективной и представляющей большой практический инте-

рес, в частности при сокращении объема научного текста в учебных целях, является теория Л. П. Добраева. Суть этой теории в том, что суждение выражается не только в предложении, но также и в целом законченном тексте и его частях. Это более сложное и во многом своеобразное суждение по сравнению с суждением-предложением [4].

Приняв данную точку зрения за основу, будем считать главным признаком текста наличие в нем текстового суждения, включающего в себя текстовый субъект и текстовый предикат. Текстовый субъект чаще всего сформулирован в заглавии, а предикатом является основной текст. Текст содержит речевые единицы (суждения) меньшего объема, которые включают в себя другой субъект и предикат. Эти речевые единицы состоят из еще более мелких единиц, включающих третий субъект и предикат, и так далее до отдельных суждений-предложений.

Сокращение текста происходит за счет исключения части материала. Оно не должно быть стихийным, его следует проводить системно, на логико-смысловой основе. Это значит, что мотивом для исключения не может служить наличие языковых трудностей. В противном случае адаптатор не застрахован от удаления из текста принципиально важной с точки зрения содержания части, что нарушило бы стройность внутренней организации текста и привело бы к его непониманию или неправильному пониманию. Исключению материала всегда должен предшествовать смысловой анализ текста.

Абзац является синтаксическим и литературно-композиционным компонентом текста, а внутри абзаца находится основное стержневое предложение. Начальный и конечный абзацы отличаются по своей функции и структурным особенностям. Начальный абзац обычно определяет исходные положения, в последнем абзаце дается краткое резюме.

Понимание – это сложный мыслительный процесс, включающий узнавание языковых средств и соотнесение их с ситуацией контекста. Узнавание материальных средств языка происходит на базе прежнего языкового опыта читающего. В опознавательном процессе участвуют зафиксированные в памяти читающего языковые образы.

Многими авторитетами перевод оценивается как важная и необходимая форма занятий со взрослыми учащимися, добивающимися свободного, достаточно быстрого чтения и правильного понимания литературы главным образом научного характера. Согласно высказываниям крупного американского методиста П. Хэгболдта «перевод может быть хорошим помощником при обучении иностранному языку... Ни один курс обучения иностранному языку не может быть начат или закончен без помощи перевода. <...> Лучшее, что можно позволить себе при преподавании иностранного языка, – это использовать перевод там, где можно, и с наибольшей выгодой. <...> Забыть родной язык на начальном этапе обучения невозможно, вряд ли следует это делать и на последней стадии обучения. Таким лозунгом можно воспользоваться лишь тогда, когда родной язык уже выполнил роль посредника и когда пришла пора становления прямых ассоциативных связей. <...> Но даже тогда, когда учащийся «овладел» иностранным языком, он продолжает сравнивать, оценивать значения слов двух языков. Это и есть процесс перевода» [10, с. 31–32].

Это высказывание интересно не только общим переходом к проблеме, но и раскрытием понятия перевода как

метода обучения. Питер Хэгболдт говорит об оценке, о сравнении слов двух языков уже как о процессе перевода. Следовательно, перевод как процесс нельзя смешивать с переводом как итогом, как законченной и адекватной передачей оригинала на другой язык. Дело преподавателя (а это зависит от его опыта, интуиции, задач данного занятия, общих целей занятий и так далее) на каком этапе процесса перевода остановиться в том или ином случае, какими элементами этого процесса и какой степенью его законченности довольствоваться. В отдельных учебных ситуациях может быть достаточным перевод того или иного слова, термина или словосочетания. В другой раз может оказаться обязательным перевод тех элементов текста, которые определяют синтаксические или логические связи. В иных случаях может возникнуть необходимость в переводе большого объема текста с учетом даже стилистических моментов. Всё это заранее предусмотреть вряд ли возможно, а следовательно, нельзя строго регламентировать в учебных целях.

Важной качественной стороной чтения является объем воспринимаемых единиц. Экспериментально установлено, что единицами восприятия языковой информации при зрелом чтении являются не отдельные слова, а целые группы или блоки слов.

Для формирования навыка чтения по смысловым группам необходимо специально организованное обучение с выделением в первую очередь учебных единиц как основы для освоения. Учебные единицы представляют собой единый смысловой комплекс на основе синтаксической спаянности их компонентов и выполняют в языке определенную коммуникативную функцию. В их основе должна быть заложена модель синтаксической структуры, распространенной в научно-технической литературе по транспортным специальностям. Одним из видов свободных словосочетаний современного немецкого языка являются атрибутивные конструкции. При чтении текста они выступают как готовые элементы, выражающие единое смысловое целое.

Для изучения частотности употребления атрибутивных конструкций нами анализировались тексты однородные как по исследуемым областям техники, так и с лингвистической точки зрения. При этом соблюдалась равная пропорция между количеством текстов, относящимся к разным областям железнодорожного транспорта. Кроме того, при их отборе исключалась возможность рассмотрения нескольких текстов, принадлежащих одному автору, чтобы нейтрализовать влияние авторского стиля на результаты исследования. Для выполнения этих требований были изучены статьи научно-технической литературы и периодических изданий ФРГ, отражающих разные стороны железнодорожного транспорта: локомотивы и вагоны, путь и путевое хозяйство, железнодорожное строительство, сортировочная и грузовая работа, пассажирские перевозки, служба сигнализации, блокировка и связь, результаты которых представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты статистического исследования

Вид исследуемых атрибутивных конструкций по способу присоединения к стержневому существительному	Среднее число единиц на страницу печатного текста
Генетивные атрибутивные конструкции	6
Препозитивные атрибутивные конструкции	5,5
Смешанные атрибутивные конструкции	3

Рассматриваемые структурные модели атрибутивных конструкций достаточно глубоко изучены в исследованиях отечественных и зарубежных лингвистов. Однако предлагаемые лингвистические классификации недостаточны для их использования в методических целях.

Основная задача методической классификации заключается в том, чтобы создать необходимые условия для преодоления трудностей, возникающих при восприятии и понимании указанных конструкций.

Понятие «трудность» употребляется в методике для характеристики усилий, которые должны приложить обучаемые с целью узнавания и понимания определенных языковых явлений при чтении текста. Осуществлена классификация атрибутивных конструкций (таблица 3).

Таблица 3 – Классификация атрибутивных конструкций

Конструкция	Расшифровка	Пример
S+Sgen.	Стержневое существительное + существительное мужского рода в генетиве (S+Sgen.(m)) Стержневое существительное + существительное женского рода в генетиве (S+Sgen.(f)) Стержневое существительное + существительное множественного числа в генетиве (S+Sgen.(pl.)) Стержневое существительное + существительное в генетиве с распространенным определением (S+Serw./A) Стержневое существительное со стоящим впереди распространенным определением + существительное в генетиве (мужского, среднего, женского рода и множественного числа) (Serw.A+S+Sgen (m/f/pl))	Die Tragfähigkeit des Wagens Das Strecken der Kupplung Die Risseprüfung der Schienen Der Zuschlag der vor der Reise lösenden Fahrkarten Der Zustand der vor der Reise erhaltenen Bruchkraft der Kupplung
S+Spr.	Стержневое существительное + существительное с предлогом (auf, mit, für) (S+Spr.)	Die Fahrt auf Sicht; ein Zug mit Postbeförderung; die Taste für Dieselstörung
S+Spr.	Стержневое существительное + существительное с предлогом и распространенным определением перед ним (S+Spr.+Serw.A)	Die Bedeutung für die Industriezentren verbandenen Eisenbahnlinien
S+Sgen.+Spr.	Стержневое существительное + существительное в генетиве + существительное с предлогом (S+Sgen.+Spr.)	Die Länge der Eisenbahnlinie für Reiseverkehr
S+Spr.+Sgen.	Стержневое существительное + существительное в генетиве (S+Spr.+Sgen.)	Der Wagen zum Verlegen des Fahrdrathes

Отобранный учебный минимум атрибутивных конструкций и установленные в результате статистического исследования их наиболее распространенные модели должны быть использованы при организации специальной системы обучения с целью формирования умений и навыков узнавания и понимания данных конструкций при чтении научно-технической литературы.

Получение информации из научной литературы на иностранных языках – процесс ответственный, и во многих случаях любая степень приближенности в понимании изложенного исключается. Именно перевод как метод обучения является хорошей профилактикой поверхностного восприятия и приблизительного понимания текста.

Преподаватели ограничены в своих возможностях обучения переводить научный текст тем, что часто недостаточно знают экстралингвистическую ситуацию выска-

звания, могут плохо ориентироваться в сущности явления. В этом смысле обучаемые являются сотрудниками и помощниками преподавателя. Занятия приобретают при этом творческий характер, характер равно активного участия в них обучаемой и обучающей сторон.

Известно, что перевод художественной литературы относится к категории искусства и обучать ему практически невозможно. Перевод же научной и научно-технической литературы в большинстве случаев поддается обучению людьми, знающими язык и знакомыми с соответствующими проблемами и вопросами науки. Перевод научной литературы считается успешным, если обеспечивает точную передачу всей информации. В отдельных случаях он может стать основным видом учебной работы. Опыт показывает, что при занятиях с аспирантами, магистрантами, соискателями, читающими теоретическую литературу, посвященную спорным и малоисследованным проблемам подвести обучаемого к усвоению сложных понятий удается, сопоставляя категории значений иностранного языка с категориями родного языка, прибегая при этом к достаточно полному переводу текста, ибо необходимо создавать широкий контекст, без которого не могут проясниться трудные понятия, их связь, ход мысли автора, логика его рассуждений.

Существует ряд форм научной коммуникации и научной работы, которые вызывают у ученого потребность в переводе, например, для цитирования на русском языке, для использования иностранной литературы в статьях, докладах и сообщениях, для реферативного изложения, а также при участии в международных конгрессах, симпозиумах и т. д.

История обучения иностранным языкам свидетельствует о том, что к переводу менялось отношение. Грамматико-переводный метод был в свое время раскритикован сторонниками так называемого натурального метода или родственными ему методами. Однако в реальности обучение иностранному языку определенных групп, исключение перевода либо не соответствует осуществлению поставленных задач, либо затрудняет их.

П. Хэгболдт дал меткую характеристику роли перевода в занятиях иностранными языками: «Перевод – это костыль, которым пользуешься, когда он нужен и убираешь тогда, когда можешь ходить без него» [10, с. 123]. Следовательно, априорное исключение перевода, как и чрезмерная абсолютизация его, не могут быть признаны справедливыми.

Таким образом, предлагаемая организация учебного материала способствует решению практической задачи обучения чтению на иностранном языке, формированию навыка зрелого чтения на родном языке, побуждает к активной умственной работе.

Список литературы

1 **Брандес, М. Н.** Стиль и перевод / М. Н. Брандес. – М., 1988. – 13 с.

Получено 10.09.2017

N. A. Grishankova. Organization of educational material as a means of intensification of teaching reading of railway literature.

Some possibilities to improve the effectiveness of teaching to read in non-linguistic universities are studied connected with the rational organization of educational material for reading with direct understanding on the semantic level of text perception. A comparative analysis of training units that represent a single semantic complex on the basis of the syntactic cohesiveness of their components, and performing in language a specific communicative function is made. The models of the syntactic structures common to scientific and technical literature on railroad specialties, which are one of the types of free phrases of the contemporary German language and act as ready-made elements, expressing a single meaningful unity when reading a text are represented. It is shown how associative links are arranged between the reference word and its components.

2 **Беляева, Н. В.** Психолингвистическое исследование понимания гипертекста / Н. В. Беляева // Известия Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена, аспирантские тетради : науч. журнал. – СПб., 2007. – № 18(44). – С. 83–87.

3 **Данилова, О. А.** Роль мотивации в изучении иностранных языков [Электронный ресурс] / О. А. Данилова, Д. В. Конова, З. А. Дукин // Режим доступа : <http://studyenglish.info/article018.php#ixzz3QZxUPBV7> – Дата доступа : 07.02.2015.

4 **Доблаев, Л. П.** Смысловая структура учебного текста и проблемы его понимания : автореф. дис. ... д-ра наук / Л. П. Доблаев. – Саратов, 1972. – С. 18–20.

5 **Кулешова, В. М.** Введение в теорию и практику перевода научно-технической литературы / В. М. Кулешова. – Минск : БГУ, 2001. – 59 с.

6 **Образцов, П. И.** Профессионально ориентированное обучение иностранному языку на неязыковых факультетах вузов : учеб. пособие / П. И. Образцов, О. Ю. Иванова. – Орел, 2005. – 114 с.

7 Словари – источник знаний [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://studopedia.org/1-92255.html>. – Дата доступа : 31.03.2015.

8 **Тер-Минасова, С. Г.** Иностраный язык для неязыковых вузов и факультетов (примерная программа) [Электронный ресурс] / С. Г. Тер-Минасова, Е. Н. Соловова. – Режим доступа : http://www.vgsa.ru/facult/eco/kaf_cgd/doc/language_prf.pdf. – Дата доступа : 25.02.2015.

9 Фразеологизм [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://tolkslovar.ru/12680.html>. – Дата доступа : 31.03.2015.

10 **Хэгболдт, П.** Изучение иностранных языков / П. Хэгболдт. – М. : Учпедгиз, 1963. – С. 31–32, 123.

11 **Dahlhaus, B.** Fertigkeit Lesen / B. Dahlhaus. – Berlin; München : Langenscheidt, 1994. – S. 89.

12 **Durrell, M.** Variation im Deutschen aus der Sicht von Deutsch als Fremdsprache / M. Durrell // Der Deutschunterricht. – 2004. – H. 1. – S. 69–77.

13 **Ehlers, S.** Kooperatives Lernen und Transfer von Lesestrategien / S. Ehlers // Die neuen Sprachen. – 1994. – H. 5. – S. 479–489.

14 **Groeben, N.** Leserpsychologie: Textverständnis – Textverständlichkeit / N. Groeben. – München : Aschendorff, 1982. – S. 112.

15 **Lutjeharms, M.** Lesen in der Fremdsprache: Zum Leseprozess und zum Einsatz der Lesefertigkeit im Fremdsprachenunterricht / M. Lutjeharms // Zeitschrift für Fremdsprachenforschung. – 1994. – H. 5. – S. 36–77.

16 **Piepho, H.-E.** Arbeit mit Texten / H.-E. Piepho // Fremdsprache Deutsch. – 1990. – H. 2. – S. 13–19.

17 **Portman-Tselikas, P.** Textkompetenz / P. Portman-Tselikas, S. Schmölzer-Eibinger // Fremdsprache Deutsch. – 2008. – № 39. – S. 5–16.

18 **Thonhauser, J. P.** Textkompetenz im Fremdsprachenunterricht / J. Thonhauser // Fremdsprache Deutsch. – 2008. – № 39. – S. 17–22.

19 **Weinrich, H.** Wege der Sprachkultur / H. Weinrich. – Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt, 1985. – 245 s.

УДК 625.8-331.45

Т. Б. МАТИБАЕВ, кандидат социологических наук, начальник врачебной службы АО «Узбекистон темир йуллари», г. Ташкент, Узбекистан

СОЦИАЛЬНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО: ПОНЯТИЕ И СУЩНОСТЬ

На современном уровне реализации демократических реформ, происходящих в Узбекистане, развития основ гражданского общества, государственного и общественного строительства и управления большое значение имеют единство и солидарность соотечественников. В этом смысле понятие «социальное сотрудничество» приобретает фундаментальное содержание, и теоретико-методологический анализ данного феномена в настоящее время является актуальной задачей, стоящей перед социальными науками. Однако это понятие, являясь основой эффективной реализации управления или упорядочения рыночных отношений в любом обществе, недостаточно исследовано с теоретико-методологической точки зрения.

Как известно из истории, государство и обеспечиваемое им право во все времена были представлены как факторы, призывающие общество к порядку и обеспечивающие мир и спокойствие, устраняющие социальные противоположности и противоречия. Теория гражданского общества, история политических взглядов, созданных человечеством, были усовершенствованы на основе теоретических взглядов об обществе и личности, политике и государстве, развитии обществ, с истоков коллективизма до сегодняшнего дня.

В настоящее время в формировании гражданского общества одними из сложных процессов являются социальное содействие и обеспечение договоренности среди людей. С этой точки зрения приумножение в обществе «направляющей» и «реализующей» сил посредством фактора социального партнерства, направленного на социальное сотрудничество, является важным социально-политическим процессом. В частности проблема создания и обеспечения порядка, основанного на социальной справедливости в гражданском обществе, в настоящее время связана с рядом факторов. Они занимают важное место в формировании социального партнерства, являющегося составной частью социального сотрудничества. С этой точки зрения нужно дать теоретико-методологические и практические заключения, рекомендации посредством изучения сути и содержания, составной части, функциональных особенностей социального партнерства, установленного на основе социального сотрудничества. Это, в свою очередь, обеспечит социальные содействия и договоренности, считающиеся основными факторами развития гражданского общества [1].

Важно отметить, что ранее понятие «социальное сотрудничество» понималось односторонне и рассматривалось как «действительность в трудовых коллективах», «социальное обязательство», «фактор ведения планового хозяйства». Со времени получения полностью изменены сознание, мышление, образ жизни людей, у которых коренным образом меняются подходы к предпринимательству, конечному результату труда. В этом смысле есть потребность в широком анализе проблемы с точки зрения научного мышления, с одной стороны – процессов глобализации, происходящих в мире, с другой – как своеобразное проявление модернизации, происходящей в Узбекистане, а также как результат экономической либерализации.

Как известно, в истории человечества в развитии обществ происходили различные столкновения и конфликты. Старания и поиски путей их устранения были связаны с вопросами социального сотрудничества. Естественно, взгляды о социальных конфликтах, их проявлениях в межличностных отношениях, взаимной трудовой деятельности, причинах и последствиях с давних пор и до сегодняшнего дня были в центре внимания мыслителей. Например, греческий философ Сократ является одним из первых, кто выдвинул тезис о необходимости договорных отношений между государством и свободными гражданами. Законы, отражающие интересы Родины, он ставил выше родителей, именно эти законы являлись для граждан приоритетными [2].

Следует отметить, что идея социального сотрудничества, занимавшая важное место в последующем на Востоке, в частности в творчестве мыслителей Центральной Азии, в мировоззрениях таких ученых, как Абу Наср Форобий, Абу Али ибн Сино, Абу Райхон Беруний, Алишер Навои. Так как в наших исследованиях отдельное место уделено учению восточных мыслителей, связанному с социальным сотрудничеством, вновь обратимся к взглядам европейских ученых.

Философ-просветитель Жан Жак Руссо (1712–1778) необходимость соглашения по пути достижения взаимного сотрудничества в жизни общества обосновал в рамках своей концепции «социальный договор». В таких трудах, как «Размышление о науках и искусствах», «Размышления о возникновении неравенства и их причинах», «Новая Элоиза», «О социальном договоре», он представил своеобразные особенности свободы личности и демократизации общества. Как писал Руссо, в период перехода людей от естественности к обществу, в результате скрывания путем объявления равенства всех перед законом возникло различие в собственности, на деле же было усилено имущественное неравенство. Теперь деспотизм, как и было в древнем Риме, опирается на грубость, силу и запугивание. Но «сила не создает право», наоборот, граждане полностью сохраняют свое право идти против правительства [3, 4]. Руссо обосновал это право народа в соответствии с идеей о социальном договоре, выдвинутой им ранее: договор составляется не только между народом и правительством, но и среди всех членов нации. Этот договор – не смесь социальных атомов или совокупность индивидуумов, а сообщество соотечественников-патриотов. Воля соотечественников не объ-

единяется механически и арифметически, это не «воля всех», а общая воля, демонстрирующая общий интерес настоящих соотечественников, «всегда постоянная, неизменная и прозрачная» [4]. Она воплощает в себе неделимый и неотъемлемый народный суверенитет, в соответствии с народной волей берет исполнительную власть, если нарушит эту волю, то достоин свержения силой от власти. Социальное состояние на долю членов общества в первое время возлагает ряд неизвестных ограничений. Но члены гражданского общества, наряду с этими ограничениями достигают благосостояния и благоденствия. В социальном положении инстинкт, не имеющий никакой ответственности, превращается в справедливость, а животные склонности – в права и обязанности. Даже и ограничение свободы как осязание благоденствия и благосостояния, мышления являются совершенствованием психологических особенностей [5]. Теоретические взгляды Руссо, особенно научное наследие о суверенитете народа, внесли важный вклад в развитие теоретических взглядов о гражданском обществе того периода. Его научные изыскания о нормах нравственности и создании общества на основе социального договора не теряют своего значения и в настоящее время в сфере обеспечения свободы личности и ее прав.

Немецкий философ Иммануил Кант (1724–1804) был активным сторонником договоренностей и содействия в социально-экономических отношениях. По его признанию, в человеческих отношениях, взаимной деятельности важное место занимают содействие, примирение в интересах друг друга. Из сказанного выше можно сделать вывод, что социальное сотрудничество на самом деле как своеобразная идея, объединяющая отдельное общество, имеет более широкое значение в сравнении с простым партнерством. К новому периоду истории оно обогатилось фактором общественного соглашения в свете обоснования концепций правового государства таких ученых, как Локк, Руссо. Такое соглашение в масштабе всего общества в последующем приобрело правовое значение. Например, в Конституции Соединенных Штатов Америки и ряда других стран идея социального сотрудничества, основанная на социальном соглашении, превратилась в конкретно выраженную идею, потому что в таких документах, имеющих большое содержание, были признаны не только отношения государства и общества, но и своеобразные соглашения, связи и сотрудничество между государством и гражданином, обществом и личностью.

Рассмотрим идею социального сотрудничества, которое было всего лишь отражением социального сотрудничества в XX веке, исторически сформированного начиная с самого раннего периода жизни человечества и обогащенного в течение веков всё новыми ценностями. Другими словами, социальное сотрудничество представляло собой плод явлений (событий), требующих социальных партнеров в период индустриального прогресса человечества, основанного на промышленности, а также отражающих обоснованную в договорах значимость капиталистического общества.

В России идеи социального согласия представил экономист и социолог В. Берви-Флеровский (1829–1918 гг.) в труде «Состояние рабочих в России», в котором критиковал образ жизни рабочих, состояние бедности в семье, отношение хозяина к рабочему, вместо идеи «борьба за жизнь» – «солидарность за

жизнь» [6]. Русский экономист, председатель Кабинета Министров того периода Н. Бунге (1823–1895 гг.) взаимодействие рабочих и предпринимателей считал необходимой стороной процесса. Подчеркивая то, что необходимо действовать «рука об руку» на пути к достижению общей цели, успех он связывал с участием рабочих в получении прибыли. Он показал важную роль государства и законодательства в вопросах контроля конфликтов между рабочими и капиталистами и их примирении.

Глубоко изучивший развитие промышленности в России в начале XX века ученый В. Литвинов-Фалинский раскрыл своеобразные особенности социального партнерства. По его мнению, в приведении в соответствие интересов собственников и рабочих необходимо участие именно государства. Производственные силы и производственные отношения как объект соответствия взаимных связей и интересов, столкновение интересов работодателей и рабочих, а также их полное решение как субъект этих процессов нашли своё отражение в социальном партнерстве.

Таким образом, при толковании понятия «социальное партнерство» существуют два разных подхода (в узком и широком смысле). По нашему мнению, целесообразно в широком смысле использовать «социальное партнерство», а в узком смысле – «социальное товарищество». В частности социальное партнерство трактуется как социальные трудовые отношения между государством и рабочими, предпринимателями, слоями населения или между социальными группами. При этом социальное партнерство будет направлено на взаимоотношения работодателя с наемным рабочим.

А теперь о социальном товариществе. В широкомасштабных социально-политических процессах очень часто встречаем понятия «взаимодействие», «гармоничность отношений», «единодушное действие», «договаривающаяся, заключающая договор деятельность», «вести совместную деятельность», отражающие совместную деятельность людей. Эти категориальные понятия являются объектами изучения экономических, психологических наук. В частности посредством этих наук и различных сфер социально-политической жизни раскрыты своеобразные особенности социального товарищества. Объектами изучения многих исследователей считаются также проблемы в области здравоохранения, образования, экономики, труда, социальной защиты. По мнению С. Г. Гринко, специалиста, всесторонне осветившего особенности, касающиеся действий педагогического сотрудничества в области образования, «социальное товарищество по приемам действия, пересекаясь в центре применения интересов, означает определенные виды социальной кооперации и взаимоотношений людей, представляющих множество оптимизируемых социальных моделей поведения и направлений в рамках специальных форм социального согласия» [7]. Как показывает ряд определений, социальное товарищество, прежде всего, означает своеобразные социально-коллективные трудовые отношения, направленные на обеспечение интересов работодателей и наемных рабочих, различных социальных групп. В настоящее время социальное товарищество рассматривается как своеобразный институт социального товарищества [8].

Существуют два теоретических подхода к категории социального товарищества: тредгреческий и концепция межсекторного стратегического партнерства [9, 10]. При первом подходе приоритетно представление о необходимости координации взглядов и решений в области социальной и экономической политики между бизнесом, государством и профсоюзными организациями. Согласно второму подходу сущность социального партнерства состоит из взаимных конструктивных отношений трёх секторов общества, то есть представителей государства, коммерческих и негосударственных секторов в решении проблем социальной важности, опираясь на существующее законодательство. Как сторонники второго подхода хотим отметить, что социальное партнерство предусматривает не только отношения внутри отрасли, но и партнерские связи среди различных организаций. При этом важно обратить внимание не только на взаимоотношения вышеуказанных трёх звеньев, а также на составляющие их взаимовлияние и отношения многих других позиций и факторов.

Таким образом, анализ подходов зарубежных специалистов дает возможность утверждения, что социальное партнерство является взаимовыгодным отношением трех сторон, состоящих из государства, работодателя и наемных рабочих. Но эта точка зрения исключает и другие различные подходы. Согласно точке зрения А. Малинкина, «социальное партнерство – идеология и практика, служащие основой для мирного, неконфронтационного средства упорядочивания социальных отношений среди групп и классов в обществе [11]. Это выражение имеет значение своей обобщенной особенностью, так как в нем социальное партнерство не связано с конкретными социальными институтами и единицами. Верно то, что каждое явление, имеющее социальное значение, связано с определенными факторами. Возникновению и эффективному внедрению социального партнерства, по нашему мнению, способствуют следующие факторы: 1) социальная проблема; 2) интересы партнеров; 3) правовая обоснованность сотрудничества; 4) уровень и качество его возможностей и ресурсов; 5) правила взаимного влияния и контроля; 6) информационная площадь, дающая возможность освещения грани со-циального партнерства; 7) проекты, служащие основой для сотрудничества; 8) постоянство и устойчивость в процессе социального партнерства; 9) инновационные пути решения социальных проблем.

Рассмотрим эти факторы в обобщенном виде. Как известно, главная причина социального партнерства – это проблемы, возникновение которых ожидаются среди людей в той или иной сфере, а также в трудовых коллективах. Уровень осознания этих проблем со стороны субъектов, естественно, бывает разным. Поэтому приводить в соответствие интересы, взгляды и возможности сторон считается сложной задачей. В этом смысле для достижения данных целей и задач необходимо *определение интересов сторон, глубокое осознание важности этой проблемы, совместное формирование целей и задач деятельности, осознание*

своего места и положения в обществе, умение оценивать собственные возможности для решения проблемы, а также достижение положительных результатов посредством разработки конкретных правил, сил и средств, задействованных в этом процессе.

Социальное партнерство – это совместная разработка сторонами конкретной проблемы и ее решение. При этом отношения, основанные на равноправии, могут стать долгосрочным и взаимовыгодным сотрудничеством. В связи с этим отношения в данном направлении во многих случаях нужно отличать от простого взаимного влияния или кооперации на пути решения упорядочиваемых руководством, продолжающихся краткосрочно проблем. В частности, западный специалист Л. Олсен в своей книге под названием «Partnership For Social Welfare» о социальном партнерстве пишет так: «Партнерство по сравнению с кооперацией имеет широкое содержание. Оно означает развитие договорной культуры, выходящей на арену как среда распределения задач и ответственности, принимаемой сторонами» [12].

Следует отметить, что даже после создания организационной почвы для партнерства могут возникнуть проблемы в процессе использования имеющихся возможностей, распределения задач. В этом социальное партнерство требует профессионализма. Необходим ответственный подход сторон к качеству и полноте выполнения своих обязательств. Только таким образом их партнерская деятельность будет эффективной, и имеющиеся проблемы будут решены. Важно помнить, что социальное партнерство реализуется с помощью активного участия всех социальных субъектов, представляя разумные пути и механизмы прекращения противоречий, потому что ни один отдельно взятый субъект в обществе не имеет возможности решения социальных проблем в одиночку. С этой точки зрения через социальное партнерство формируются взаимные конструктивные отношения среди сил в обществе, и будут созданы условия для достойной жизни.

Список литературы

- 1 **Каримов, И.** Концепция дальнейшего углубления демократических реформ и формирования гражданского общества в стране / И. Каримов. – Ташкент : Узбекистан, 2010.
- 2 **Платон.** Собрание сочинений. В 4 т. Т. I. – М. : Мысль, 1990. – С. 107.
- 3 **Нарский, И. С.** Западно-европейская философия XVIII в. / И. С. Нарский. – М. : Высш. шк., 1973. – С. 270.
- 4 **Руссо, Ж. Ж.** Трактаты / Ж. Ж. Руссо. – М., 1969. – С. 160, 162, 171, 193.
- 5 **Аснус, В. Ф.** Историко-философские этюды / В. Ф. Аснус. – М. : Мысль, 1984. – С. 119.
- 6 **Михеев, В. А.** Основы социального партнерства: теория и политика / В. А. Михеев. – М., 2001. – С. 297.
- 7 **Гринько, С. Г.** Разработка системы профильного обучения как модели социального партнерства : автореф. дис. ... канд. пед. наук / С. Г. Гринько. – Ростов н/Д, 2007. – С. 15.
- 8 **Веселова, Н. Г.** Социальное управление и элементы его культуры / Н. Г. Веселова. – М. : Дашков и К, 2002. – С. 105–125.

Получено 22.08.2017

T. B. Matibayev. Social cooperation: concept and essence.

In the organization at the present level of implementation of democratic reforms in Uzbekistan, development of the foundations of civil society, state and social construction and management are of great importance to the unity and solidarity of our compatriots. In this sense, the concept of "social partnership" takes on the fundamental contents and theoretical and methodological analysis of this phenomenon is currently an urgent task facing the social Sciences. However, this concept, being the basis of effective implementation of management or the streamlining of market relations in any society are not well understood from theoretical and methodological point of view.

УДК 378.1

А. И. ПОПОВ, кандидат педагогических наук, Тамбовский государственный технический университет, Российская Федерация

ПОДГОТОВКА ИНЖЕНЕРА К ТВОРЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В УСЛОВИЯХ ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Сформулированы причины психологического напряжения специалиста при реализации инновационной деятельности. Выявлены факторы и специфические особенности организации образовательного процесса в вузах, снижающие результативность развития личностных качеств студентов. Обоснована роль олимпиадного движения по теоретической механике в развитии интеллектуальных и творческих качеств обучающихся по техническим специальностям. Описан передовой опыт организации олимпиадного движения в Республике Беларусь и Российской Федерации. Обоснована необходимость развития олимпиадного движения посредством интеграции на развивающем этапе занятий в олимпиадных группах и творческого саморазвития в электронной образовательной среде.

Реализация компетентностного подхода в системе высшего образования предполагает, что выпускник наряду с наличием высокого уровня знаний и умений будет обладать необходимыми личностными качествами, обеспечивающими максимальную реализацию его потенциала при выполнении трудовых функций в условиях реального производства [1, 2]. Традиционно применяемые образовательные технологии не всегда позволяют в педагогическом процессе интенсивно формировать психологическую готовность студента к деятельности в условиях конкуренции на рынке труда. Особую актуальность данная подготовка приобретает в контексте выполнения функций творческого характера, являющихся составной частью инновационной деятельности субъекта производственной деятельности.

Психологическое напряжение в профессиональной деятельности технического специалиста детерминировано следующими обстоятельствами.

Во-первых, специалист зачастую должен принимать решения в области проектно-конструкторской или производственно-технологической деятельности, определяющие как развитие всего предприятия и структуры его кадров, так и перспективы подчиненного ему коллектива инженерно-технических работников, да и его самого. Высокая фондоёмкость принимаемого решения и наличие риска как финансового, так и технического (и, прежде всего, связанного с безопасностью людей), повышенная ответственность за подчиненных могут существенно тормозить выполнение трудовых функций. Наиболее существенно это торможение скажется на творческом компоненте деятельности специалиста.

Во-вторых, ситуация на рынке труда стимулирует инженера стремиться к максимально результативной деятельности, обеспечивающей наилучшее позиционирование специалиста у руководства компании. Большинство работников при этом будут избегать принимать решения с высокой степенью риска, чтобы не допустить снижения своей позиции в конкуренции с другими специалистами в случае наступления негативных последствий, связанных с данным решением.

В-третьих, член трудового коллектива вынужден соответствовать определенным социальным правилам,

действующим в нем. Дисбаланс социальных стандартов и нравственных норм коллектива и личности при слабой психологической подготовке последней, неспособность работника аргументированно отстаивать свою точку зрения на решение проблемы, касающейся социальных аспектов жизнедеятельности коллектива, может привести к стрессовой ситуации. Достаточно часто такой специалист выбирает пассивную позицию при реализации инновационной политики.

В-четвертых, интенсивное выполнение трудовых функций, определенных занимаемой должностью, но не дающих морального удовлетворения и возможности саморазвития подавляют восприятие человеком себя как творческой личности, что чревато психологическим выгоранием работника, блокированием творчества в его работе.

Рассмотренные причины возникновения психологического напряжения тормозят проявление креативности специалиста, необходимой для его активного участия в реализации инновационных программ предприятия. В значительной мере слабая психологическая подготовка выпускника обусловлена доминирующим подходом в организации профессионального образования. Выделим наиболее существенные факторы, негативно влияющие на развитие в процессе обучения личностных качеств.

1 Слабая индивидуализация обучения, невозможность в рамках классно-урочной системы полностью учесть особенности восприятия информации обучающимися и темпы их развития.

2 Отсутствие относительной оценки деятельности обучающихся, влияющей на процесс обучения или дальнейший карьерный рост. Студент стремится к выполнению только показателей учебной деятельности, заданных извне, при этом не ориентируясь на достижения своих товарищей по группе. Используемая в значительном количестве вузов балльно-рейтинговая система хотя и позволяет оценить успешность деятельности студента по сравнению с остальными, но никак не влияет на сам процесс обучения.

3 Достаточно щадящий график деятельности и её показателей, предоставление возможности обучающимся многократно пересдавать контрольные мероприятия, задерживаться с их выполнением.

4 Слабая организация коллективной работы, низкая ответственность членов создаваемых учебных коллективов за конечный результат их деятельности.

5 Малое количество творческой составляющей в учебной деятельности. И, прежде всего, такой, которая мотивирует обучающегося на переход от стимульно-продуктивного уровня интеллектуальной активности к эвристическому или креативному.

Выявленные факторы в организации высшего образования не позволяют сформировать необходимые личностные и духовно-нравственные качества на высоком уровне у значительного количества обучающихся, что после окончания вуза препятствует их оперативному включению в инновационную деятельность в производственном секторе экономики, а предполагает определенное время адаптации. Серьезной проблемой это может стать для предприятий отраслей, определяющих стратегическую безопасность страны в долгосрочной перспективе: машиностроения, транспорта, химических технологий, что связано также со слабым воспроизводством кадров в них.

Одной из эффективных форм подготовки студентов к творческой деятельности в условиях психологического напряжения может стать олимпиадное движение студентов [3, 4]. Необходимо подчеркнуть, что олимпиадное движение включает не только олимпиады как способ определения лучших на данный момент студентов, но и длительный подготовительный этап совместной деятельности обучающихся в рамках олимпиадных микрогрупп и индивидуальной деятельности в соответствии с собственными возможностями и потребностями, проходящий в электронной образовательной среде.

В подготовке к творческой деятельности инженеров-механиков особую роль играет олимпиадное движение по теоретической механике. Данная учебная дисциплина не только закладывает фундамент знаний для освоения всех остальных инженерных дисциплин, но и позволяет на примере анализа моделей реальных технических систем выработать навыки критического мышления, поиска и анализа информации, способности выработки различных путей разрешения проблемной ситуации и выбора наиболее оптимального варианта решения. К сожалению, предоставленная, например российским вузам, свобода в проектировании образовательной программы привела к резкому снижению трудоемкости данной дисциплины, и, как следствие, к ослаблению формирования универсальной готовности к творческой инженерной деятельности. В этих условиях возрастает роль олимпиадного движения, способного в рамках самостоятельной работы наиболее мотивированным студентам создать условия и для творческого развития, и для подготовки к успешной деятельности в условиях профессиональной конкуренции.

Значительный опыт олимпиадного движения накоплен в Республике Беларусь и Российской Федерации. В России активно развивают олимпиадное движение в вузах Екатеринбурга, Челябинска, Казани, Новосибирска, Москвы, Новочеркасска, Тамбова. В Республике Беларусь лидером в организации творческого саморазвития по теоретической механике является Белорусский госу-

дарственный университет транспорта (г. Гомель). Структура проводимой в нем олимпиады позволяет дать сильнейший импульс к изучению теоретической механики как базовой инженерной дисциплины и имеет ключевое значение для формирования важнейших личностных качеств специалиста, востребованных на современном производстве.

Деятельность инженера в условиях динамически развивающейся экономики предполагает развитую на высоком уровне способность к быстрому анализу представленной информации, ранжированию стоящих перед ним задач, умение правильно распределять силы, время и используемые ресурсы для их решения. При этом системе высшего образования очень важно подготовить студента к решению именно нестандартных задач, связанных с конструкторской или технологической деятельностью.

Традиционное построение теоретического конкурса олимпиады, включающего две задачи по статике, две по кинематике и четыре по динамике, предполагало наличие заданий различной сложности, дающее обучающемуся явную подсказку (в виде определенной жюри максимальной оценки за задачу) по последовательности их решения. На Международной олимпиаде, проводимой в БелГУТе, был реализован принцип формирования заданий приблизительно равной сложности, но отражающих особенности различных видов деятельности конкурентоспособного инженера: аналитической, научно-исследовательской, проектно-конструкторской, сервисной, технологической. С одной стороны, это уравнивает шансы участников, представляющих региональные технические вузы, исследовательские университеты и классические университеты, т. к. участник может найти себе задачу, отражающую или имеющую близкий профессиональный контекст. С другой – задачи являются одинаковыми по сложности только по мнению автора, но для каждого обучающегося (и в силу неравномерности изучения различных разделов науки, и с учетом имеющегося опыта, в т. ч. профессиональной деятельности) они открывают различные горизонты для достижения результата и для дальнейшего исследования после окончания олимпиады. Поэтому во время психологического напряжения на олимпиаде студенты приобретают навык анализа информации, представленной в задачах, выбора наиболее интересных с позиции соревнования заданий и распределения между ними времени, отведенного на весь конкурс.

Второй конкурс «Брейн-ринг», предложенный профессором А. О. Шимановским и проводимый во время олимпиады, предполагает решение командой из трех человек большого количества творческих задач среднего уровня сложности, но в большинстве случаев предполагающих нестандартный подход к применению знаний по теоретической механике. При этом оценивается работа команды не по ходу процесса мышления (как в первом конкурсе), а только по конечному результату – числу правильно решенных заданий. В контексте подготовки студентов технических специальностей к инновационной инженерной деятельности в условиях конкуренции как предприятий, так и

работников, это имеет решающее значение, так как при осуществлении конструкторских и технологических проектов первостепенным будет умение довести решение задачи до создания эффективной технической системы, а не просто профессиональная креативность. Формат конкурса предполагает, что участники команды сами определяют и методологию соревновательной деятельности (разделение задач между участниками по дополнительным признакам или мозговой штурм всех членов команды при решении каждой задачи), и лидера группы, который берет на себя координацию работы творческого коллектива. Данный конкурс способствует формированию у студентов готовности к продуктивной творческой командной работе при ограниченности времени и повышенной ответственности за конечный результат перед другими участниками временного коллектива.

Развитие профессиональной креативности в рамках олимпиадного движения студентов как формы организации обучения в вузе может быть осложнено по двум причинам. Во-первых, позиционирование олимпиадного движения как исключительно соревнования обучающихся на олимпиаде делает мотивацию достижения результата основной. Студент хочет быть лучшим любой ценой, а вуз, подготовив нескольких талантливых ребят до уровня призеров олимпиады, может отчитаться при заполнении различных рейтинговых таблиц. При этом продолжение творческого исследования задачи для студента становится не актуальным (олимпиада закончилась, и это не повлияет на расстановку студентов в турнирной таблице). А образовательное учреждение «натаскивает» нескольких студентов на подготовку к конкретной олимпиаде и не развивает творческие способности значительного количества обучающихся, фактически упустив из виду, что большинство технических вузов готовят специалистов для реального сектора экономики, где востребованной у каждого пришедшего на производство будет именно универсальная способность творчески решать нестандартные задачи профессиональной деятельности.

Во-вторых, психологическое напряжение на олимпиаде, вызванное повышенной ответственностью за результат и необходимостью проявить творческие интеллектуальные способности в ограниченный промежуток времени, негативно сказывается как на общем психофизиологическом состоянии молодого человека, так и на уровне проявления им креативности.

Преодоление указанных препятствий возможно, если сами олимпиады будут составной частью (а в ряде случаев и началом) системы организации творческой подготовки в рамках самостоятельной работы студентов [5]. Выход во время олимпиады на эвристический уровень интеллектуальной активности должен быть закреплен и во время деятельности обучающихся в олимпиадных группах, и в процессе саморазвития. Наиболее перспективным вариантом является комбинирование олимпиадного движения в традиционном формате и взаимодействие в электронной образовательной среде. При этом, хотелось бы подчеркнуть, что эти два формата являются взаимодополняющими, и

соответственно усиливающими как развивающий, так и воспитательный компонент олимпиадного движения. Переход полностью в виртуальное пространство существенно снижает внутреннюю мотивацию обучающегося и накладывает определенный отпечаток на само взаимодействие обучающихся.

Занятия в олимпиадных группах не являются жестко регламентированными по времени и периодичности, содержание обучения на них определяется насущными познавательными потребностями обучающихся, а преподаватель выступает в основном в роли координатора и тьютора. При этом акцент на них делается не на отработку каких-либо приёмов решения творческих задач, а на исследование проблем, положенных в их основу, поиск технического решения и путей совершенствования конструкции или технологии.

С учетом необходимости усиления индивидуализации обучения студентов необходимо развивать электронную образовательную среду университета, наполняя её и методическими материалами для обучающихся по развитию креативности, и пополняя банк творческих олимпиадных задач, которые были бы ориентированы на возможность их использования обучающимися с различным начальным уровнем подготовки и мотивации. Системообразующим компонентом банка задач должны стать творческие задачи, отражающие профессиональный и социальный контексты конкретной специальности или вида деятельности (машиностроение, строительство, транспорт) [6]. Обсуждение и обсуждение технической проблемной ситуации, начатое на занятиях в олимпиадной группе, будет продолжено как в групповом формате, так и в виде личной переписки и в социальных сетях, и с помощью специально созданных инструментальных средств образовательной среды вуза.

Расширение олимпиадного движения за рамки олимпиад позволит одаренным обучающимся, значительное число из которых испытывают проблемы и с организацией социального взаимодействия, и с устойчивостью к стрессовой ситуации, наладить контакт со сверстниками на основе совместной творческой деятельности, развить способность к реализации своего интеллектуального потенциала в условиях психологического дискомфорта.

Организация подготовки обучающихся технического профиля к творческой профессиональной деятельности в условиях рыночной конкуренции и психологического напряжения на основе развития олимпиадного движения по дисциплинам, определяющим базис инженерного мышления, в первую очередь по теоретической механике, позволит существенно повысить качество образования, подготовить кадры для формирующейся инновационной экономики страны.

Список литературы

- 1 **Прокопенко, И. Г.** Формирование психологической готовности студента к профессиональной карьере : автореф. дис. ... канд. психол. наук / И. Г. Прокопенко. – Оренбург, 2011. – 24 с.
- 2 **Ханова, З. Г.** Формирование психологической готовности студентов вуза к предпринимательской деятельности:

предикторы и технологии : автореф. дис. ... д-ра психол. наук / З. Г. Ханова. – Сочи, 2012. – 46 с.

3 **Попов, А. И.** Методологические основы и практические аспекты организации олимпиадного движения по учебным дисциплинам в вузе [монография]. / А. И. Попов, Н. П. Пучков : Тамбов : ГОУ ВПО ТПУ. – 2012. – 212 с.

4 **Попов, А. И.** Олимпиады как инструмент формирования творческих общекультурных компетенций специалистов и оценивания уровня их сформированности / А. И. Попов,

Е. А. Ракитина // Alma mater: Вестник высшей школы. – 2016. – № 1. – С. 71–75.

5 **Попов, А. И.** От студенческих олимпиад – к олимпиадному движению / А. И. Попов // Alma mater: Вестник высшей школы. – 2012. – № 2. – С. 13–16.

6 **Попов, А. И.** Теоретическая механика. Сборник задач для творческого саморазвития личности студента : учеб. пособие / А. И. Попов. – Тамбов : ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 188 с.

Получено 30.11.2017

A. I. Popov. Training engineer for creative activities in terms of psychological tension.

Articulated reasons for psychological tension specialist when implementing innovation. Identified factors and specific features of the Organization of the educational process in higher educational institutions, reducing the impact of the personality development of students. Justified role Olympiad movement on theoretical mechanics in the development of intellectual and creative qualities of students in technical disciplines. Describes the advanced experience of the Olympiad movement in the Republic of Belarus and the Russian Federation. The necessity of development through the integration of movement at the Olympiad will stage exercises in Olympiad groups and creative self-development in electronic education Wednesday.

65 лет БелГУТу

УДК 629.44

Е. П. ГУРСКИЙ, кандидат технических наук, доцент, Р. И. ЧЕРНИН, кандидат технических наук, доцент, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ШКОЛА БЕЛОРУССКИХ ВАГОННИКОВ

В преддверии 65-летия БелГУТа – БелИИЖТа механический факультет открывает серию статей о научных школах, получивших развитие в стенах университета, корни которых зарождались на факультете. Первая из статей серии посвящена научной школе белорусских вагонников, которая известна далеко за пределами нашего университета.

Механический факультет – один из старейших в БелГУТе – за свою долгую историю стал тем домом, где организовались и получили развитие научные школы, известные далеко за пределами нашей страны.

Одна из таких школ – Белорусская научная школа вагонников, которая начала формироваться в далёком 1964 году, когда для становления молодого железнодорожного вуза в Белоруссии из ХабИИЖТа (г. Хабаровск) был переведен единственный в то время профессор по вагонному хозяйству на просторах СССР, основоположник советской школы вагонников-эксплуатационников Николай Захарович Криворучко.



Профессор Криворучко Николай Захарович

Николай Захарович возглавлял кафедру «Вагоны и вагонное хозяйство» с июня 1967 по октябрь 1987 года. Под его руководством подготовлено 15 кандидатов технических наук, среди которых В. П. Бугаев (1967), И. Л. Чернин (1972), Э. А. Лисичкин (1975), Э. И. Галай (1975), В. В. Пигунов (1978), А. В. Шилович (1979), а также и один доктор технических наук – В. И. Сенько (1990).

В это время основоположником науки о вагонном хозяйстве профессором Н. З. Криворучко сформировано первое научное направление вагонников БИИЖТа. Исследования выполнялись по заказам МПС СССР и железных дорог.

В этот период среди основных направлений исследований вагонников БИИЖТа можно выделить следующие:

- задачи определения пропускной способности существующих депо для установления требуемых мощностей, определение параметра резерва производственных мощностей;
- анализ неисправностей вагонов в эксплуатации с выработкой предложений по изменению конструкции их узлов и деталей;
- разработка модуля высокоскоростного транспортного средства на электромагнитном подвесе;
- разработка конструкции раздвижной колесной пары;
- разработка руководящих документов МПС СССР и многие другие.

Учебники по вагонному хозяйству профессора Николая Захаровича Криворучко неоднократно издавались и переиздавались, в том числе в Польше, Китае, Корее и на Кубе.

Из воспоминаний В. И. Сенько о своём учителе Н. З. Криворучко: *«Судьба подарила мне мудрого и доброго учителя – профессора Николая Захаровича Криворучко. Лекции и беседы, с которыми он выступал перед студентами, преподавателями и производственниками, надолго останутся в нашей памяти. Его имя будет служить нам негаснущим маяком, путеводной звездой в подготовке молодых инженерных кадров для железнодорожного транспорта и в нашей повседневной жизни».*

Научная школа окончательно сформировалась и получила дальнейшее свое развитие под руководством д-ра техн. наук, профессора Сенько Вениамина Ивановича – первого доктора в СССР по вагонному хозяйству.

Под руководством Вениамина Ивановича выполнены и защищены кандидатские диссертации А. В. Пигуновым (2002), А. В. Пулято (2005), Е. П. Гурским (2007), М. И. Пастуховым (2007), С. М. Васильевым (2011), Р. И. Черниным (2013).

В 2012 году докторскую диссертацию защитил А. В. Пулято.

В 1997 году В. И. Сенько создал и возглавил отраслевую научно-исследовательскую лабораторию «Технические и технологические оценки ресурса единиц подвижного состава» (ОНИЛ «ТТОРЕПС»). В лаборатории трудятся ученики Вениамина Ивановича, как уже остепенённые, так и работающие над диссертациями.



Сенько Вениамин Иванович, д-р техн. наук, профессор

ОНИЛ «ТТОРЕПС» имеет прочные научные связи с предприятиями Белорусской железной дороги, с железнодорожными организациями Российской Федерации, Украины, Латвийской, Литовской и Эстонской республик. Лаборатория аккредитована на широкий спектр областей деятельности Советом стран СНГ и Балтии по железнодорожному транспорту, Проматомнадзором, Российским Морским Регистром судоходства.



Коллектив ОНИЛ «ТТОРЕПС»

Сложились основные направления научной школы, среди которых можно выделить:

- прогнозирование развития инфраструктуры вагонного хозяйства и технических средств;
- развитие теории и методов прогнозирования остаточного ресурса подвижного состава;
- проектирование, изготовление, испытание и сертификацию новых перспективных конструкций пассажирского и грузового подвижного состава железных дорог;
- разработка эффективных ресурсосберегающих технологий для повышения надежности конструкций подвижного состава;

– динамика и прочность транспортных конструкций под действием статических и динамических нагрузок.

В результате работы по данным направлениям были достигнуты значимые результаты:

– разработка и реализация проекта «Белорусский пассажирский вагон» на Гомельском и Минском вагоноремонтных заводах, основанного на оригинальной технологии оценки остаточной несущей способности и позволившего решить проблему импортозамещения вагонов пассажирского парка Республики Беларусь. К настоящему времени построено около ста вагонов, не уступающих по комфортности и безопасности аналогам, выпускаемым заводами России и Украины (за данный проект авторский коллектив награжден медалью лауреата Всероссийского выставочного центра (г. Москва));

– разработка эффективной технологии неразрушающего контроля и средств диагностики по прочности сопряжения соединений с гарантированным натягом колесных пар вагонов с использованием расчетно-экспериментального метода определения напряженного состояния охватывающей детали (ступица колеса, кольцо буксового подшипника) напрессовки, обеспечивающих качество, производительность и безопасность при изготовлении, ремонте и эксплуатации (на основе тензометрической оценки НДС деталей контролируемых соединений). Новизна и полезность разработанной технологии и технологической оснастки подтверждена девятью патентами на изобретения Российской Федерации и Республики Беларусь на способы осуществления и на устройства контроля. Результаты проверенных комплексных испытаний подтвердили преимущества разработанной технологии, что позволяет рассматривать ее как перспективную для практического применения;

– разработка ресурсосберегающих технологий в механосборочном производстве при изготовлении и ремонте подвижного состава и технологические методы повышения эксплуатационной надежности подвижного состава. На большинство разработанных технологий имеется более четырнадцати патентов на изобретения;

– разработка и применение технологии гидропрессовой сборки узлов машин типа «вал – втулка», «колесо – ось», а также методов и устройств для ее осуществления и последующего контроля получаемых сопряжений. Реализация на вагоноремонтных предприятиях предлагаемых инновационных решений в этой области существенно повышает надежность ходовых частей железнодорожного подвижного состава;

– разработка новых способов неразрушающего контроля прочности прессовых соединений колесных пар вагонов;

– разработка комплекса технических решений по модернизации, совершенствованию и усилению существующих конструкций вагонов широкого типоразмерного ряда, успешное внедрение при проектировании, изготовлении и модернизации грузового подвижного состава на отечественных вагоностроительных и вагоноремонтных предприятиях (более тысячи выпущенных единиц);

– перепрофилирование не востребованного железнодорожного подвижного состава. Реализация проекта переоборудования 157 вагонов для перевозки нефтебитума в вагоны-платформы для перевозки лесоматериалов позволила получить годовой экономический эффект в более чем 2 млрд бел. руб. (2009 г.);

– разработка теории и прогнозирования потребностей Белорусской железной дороги в объектах транспортного машиностроения, которая использовалась при разработке перспектив развития рынка железнодорожных перевозок и Программы развития Белорусской железной дороги до 2015 года с учетом обоснования потребностей в инвестициях.

– разработаны методы моделирования железнодорожного подвижного состава с грузами различной физической природы, моделирование в виде системы «транспортное средство – перевозимый груз», взаимодействие внутри которой осуществляется с учетом кинематических и силовых условий на границе контакта различных сред.

При выполнении работ коллектив лаборатории часто сталкивался с проблемой отсутствия на тот момент в Республике Беларусь организации, осуществляющей сертификацию продукции для железнодорожного транспорта.

Поэтому при активном участии Вениамина Ивановича в университете создан и успешно функционирует орган по сертификации железнодорожной продукции и услуг БелГУТ (аттестат аккредитации № ВУ/112 064.01 от 17.03.2004 г.), который выполняет работы по сертификации: вагонов грузовых и пассажирских; локомотивов (электровозов и тепловозов); моторвагонного подвижного состава (электропоездов и дизель-поездов); деталей, составных частей и оборудования подвижного состава; элементов верхнего строения пути; аппаратуры автоматики, телемеханики и связи; услуг по ремонту и обслуживанию подвижного состава; услуг, предоставляемых пассажирам на железнодорожном транспорте; услуг, предоставляемых при перевозке грузов железнодорожным транспортом. Орган по сертификации включен в Реестр признанных Советом по железнодорожному транспорту государств – участников Содружества организаций, аккредитованных на право проведения работ, по оценке соответствия технических средств железнодорожного транспорта.

Следующим логичным шагом, инициатором которого и являлся В. И. Сенько, направленным на импортозамещение для Республики Беларусь, было создание единственного в республике испытательного центра пассажирских и грузовых вагонов, который обеспечивает реализацию современных технологий при проведении комплекса статических, динамических, тормозных, эргономических и ресурсных испытаний подвижного состава. Созданная инфраструктура предполагает выполнение технологической цепочки проведения комплекса испытаний подвижного состава, в том числе и сертификационных. На сегодня испытано более 30 моделей грузовых и пассажирских вагонов.

По решению комиссии Совета по железнодорожному транспорту полномочных представителей – специалистов вагонного хозяйства железнодорожных администраций СНГ, Латвии, Литвы и Эстонии В. И. Сенько является председателем группы независимых экспертов по уста-

новлению причин создания экстремальных ситуаций на железнодорожном транспорте.

Под руководством В. И. Сенько опубликовано более 400 научных работ. В том числе 11 монографий и учебников; 24 учебных пособия, 56 патентов на изобретения Республики Беларусь и Российской Федерации, 190 статей в научных журналах и 62 тезиса конференций.

Долгая и плодотворная работа ученого и учителя отмечена:

– почетным званием «Заслуженный работник образования Республики Беларусь» за большой вклад в развитие национальной системы образования;

– персональной надбавкой Президента Республики Беларусь за выдающийся вклад в развитие высшего образования;

– орденом Кирилла и Мефодия за огромный вклад в развитие просвещения, науки, образования и культуры славянских народов;

– золотой медалью Всероссийского выставочного центра;

– знаком «Почётному железнодорожнику»;

– медалью «80 лет Национальной академии наук»;

– званием «Почётный гражданин города Гомеля»;

– медалью Русской православной церкви «В память 1000-летия преставления равноапостольного Великого князя Владимира» и грамотой к этой юбилейной медали;

– званием «Почётный доктор МИИТа» (Московского государственного университета путей сообщения Императора Николая II);

– званием «Почётный профессор Государственного экономико-технологического университета транспорта» (г. Киев);

– званием «Почётный профессор Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна»;

– нагрудным знаком «Ганаровы транспартнік»;

– званием «Почётный ректор Белорусского государственного университета транспорта».

Представителями научной школы издано более 27 учебников и монографий, свыше 200 учебных пособий и методических разработок, более 200 патентов и авторских свидетельств.

Научная школа как настоящее древо знаний множится своими ветвями-направлениями и лиственной идеей, её традиции продолжают ученики, которые руководят подготовкой кадров высшей квалификации.

Научная школа активно взаимодействует с ведущими научными организациями не только Республики Беларусь, но и Российской Федерации, Украины, Китая, Узбекистана и многими другими. Крепким стержнем в истории развития проходит тема взаимодействия: взаимодействия поколений – учителя и ученика, взаимодействия в такой фундаментальной системе, как «наука – образование – производство». Именно на гранях треугольника взаимодействия рождается решение, рождается перспектива и будущее.

Получено 13.10.2017

E. P. Gurski, R. I. Chernin. School of Belarusian specialists in wagons.

On the eve of the 65th anniversary of BelSUT – BellERT, the Faculty of Mechanics opens a series of articles devoted to scientific schools, which were developed within the walls of the university, the roots of which were born at the faculty. The first of the articles of the series is dedicated to the scientific school of Belarusian specialists in wagons, which is known far beyond our university.

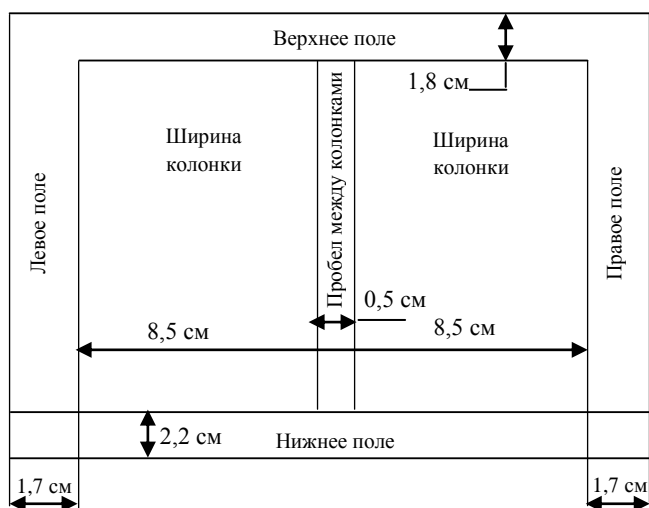
ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

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 редколлегия (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 редакцией 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 гарнитурой, что и основной текст (буквы русского и греческого алфавитов, числа, знаки математических функций – прямым шрифтом, латинские буквы – курсивом).

10 К рукописи прилагаются:

– сведения об авторе [Ф. И. О. полностью, ученая степень и звание, место работы и должность, домашний адрес, контактный телефон (служебный, мобильный, e-mail)];

– рекомендация кафедры, научной лаборатории или учреждения, в котором выполнена работа, о целесообразности публикации статьи;

– экспертное заключение о возможности публикации статьи.

11 Рукописи, которые не соответствуют указанным требованиям, к рассмотрению не принимаются.

12 Редколлегия по предварительной научно-технической экспертизе может направлять статью на рецензию специалисту и с учетом этой рецензии даёт аргументированное заключение о возможности публикации статьи.

