



ВЕСТНИК

Белорусского
Государственного
Университета
Транспорта

**НАУКА
и ТРАНСПОРТ**

1/2020

ВЕСТНИК
Белорусского
Государственного
Университета
Транспорта

Научно-практический журнал

НАУКА
и ТРАНСПОРТ

№ 1 (40)/2020

«ВЕСТНИК БелГУТа: НАУКА И ТРАНСПОРТ»

Научно-практический журнал № 1 (40) 2020 года

Издается с апреля 2000 года

Выходит один раз в полугодие

Учредители:

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

Главный редактор *Ю. И. КУЛАЖЕНКО*

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

Редакционная коллегия:

*А. А. СИВАК, В. М. МОРОЗОВ, В. Н. ШУБАДЕРОВ,
В. Я. НЕГРЕЙ, К. А. БОЧКОВ, Ю. О. ПАЗОЙСКИЙ, Э. И. СТАРОВОЙТОВ, О. Н. ЧИСЛОВ*

Ответственный секретарь *Т. А. ВЛАСЮК*

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

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

На белорусском и русском языках

Редактор *А. А. Павлюченкова*
Технический редактор *В. Н. Кучерова*
Корректор *Т. А. Пугач*
Компьютерная верстка – *С. В. Ужанкова*

Подписано в печать 26.08.2020. Формат 60x84¹/₈. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman.
Печать на ризографе. Усл. печ. л. 11,16. Уч.-изд. л. 10,31. Тираж 100 экз. Изд. № 51. Зак. № 2315.

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

© Оформление. БелГУТ, 2020

ВЕСТНИК БелГУТа: НАУКА И ТРАНСПОРТ

Научно-практический журнал

2020. № 1 (40)

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ

Комнатный Д. В. Передача частотно-модульного сигнала в системах индуктивной связи с поездами	4
Замастецкий Е. Д., Галушко В. Н., Пацкевич В. А. Совершенствование релейной защиты и автоматики тяговых подстанций метрополитена на основе системы мониторинга электрических параметров.....	7
Власюк Т. А., Белоус А. Н. Ретроспективный анализ создания и развития информационного обеспечения пассажиров на железнодорожном транспорте с середины XIX до начала XX века	11

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

Капский Д. В., Ходоскин Д. П. Применение вычислительно-аналитического алгоритма для моделирования конфликтного взаимодействия автомобилей в попутном транспортном потоке	15
Ходоскин Д. П., Ходоскина О. А. Применение количественного анализа ДТП для прогнозирования аварийности в попутном транспортном потоке.....	20

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ

Пищик А. В., Васильев С. М. Совершенствование конструкции вагона-платформы для перевозки крупнотоннажных контейнеров модели 13-9570.....	25
--	----

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

Кулаженко Ю. И., Зайчик В. С., Кебилов А. А. Метод определения требований безопасности к стержневым полимерным изоляторам для электрифицированных железных дорог.....	28
Ерофеев А. А. Принципы построения апостериорных моделей интеллектуального управления перевозочным процессом.....	31
Ковтун П. В., Дубровская Т. А., Братникова А. С. Анализ эффективности введения скоростного движения на Белорусской железной дороге	37
Жукова А. А., Занко А. Ф., Машарский З. В., Стойко С. О. Технологии будущего в аэрокосмической промышленности	40
Певзнер В. О., Каплин В. Н., Третьяков В. В., Сидорова Е. А., Полунина Е. А. Применение упругих подшпальных прокладок в зоне рельсовых стыков для повышения стабильности пути	43
Евласев И. С., Галушко В. Н., Музок А. П. Оценка качества освещения железнодорожных переездов по показателю видности	47

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Васильев А. А. Исследование различными методами распределения физико-химических показателей бетона по сечению железобетонных элементов	51
Ковтун П. В., Разводов К. С. Подбор состава бетонной смеси и выбор пропитки для светопроводящего бетона	54
Трацевская Е. Ю. Экспериментальное исследование параметров автотранспортного вибродинамического воздействия на массивы грунтов.....	58
Поддубный А. А., Ермолович О. А., Ефимчик К. В. Изготовление элементов дорожных настилов из композиционных материалов на основе полиолефинов и нефтешламов	62
Скороход А. З. Оценка распределения внутренних напряжений кольцевых пластин при расчетах жаротрубных котлов	64
Сутормына И. И. Повышение точности результатов численного моделирования центробежных насосов	68

ЭКОНОМИКА

Еловой И. А., Осипенко Л. В. Новые подходы к формированию тарифов на перевозку грузов железнодорожным транспортом	71
Лукьянов Д. В., Примак Ю. Д. Цифровая трансформация ЖКХ на основе реинжиниринга бизнес-процессов	75

ЭКОЛОГИЯ

Михальченко А. А. Исследование экологической нагрузки на окружающую среду от транспортной деятельности	80
Баймаганбетов Р. С., Аманкешулы Д., Копытков В. В. Экологические последствия лесных низовых пожаров	86

ИСТОРИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ

Власюк Т. А., Скороход А. З. Исторический анализ создания и развития насосостроения	88
---	----

АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ

УДК 656.254.7

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

ПЕРЕДАЧА ЧАСТОТНО-МОДУЛИРОВАННОГО СИГНАЛА В СИСТЕМАХ ИНДУКТИВНОЙ СВЯЗИ С ПОЕЗДАМИ

Рассматривается процесс передачи сигналов в антеннах системы индуктивной связи с поездами. Предполагается, что частота сигнала в системе такова, что все размеры передающей и приемной антенны меньше, чем длина волны. Тогда ЭДС в приемной антенне определяется по закону электромагнитной индукции. Рассмотрена передача сигнала с дискретной частотной модуляцией. Для этого сигнала выведены расчетные соотношения для ЭДС в приемной антенне, для наводящих ЭДС токов и модулирующих функций. Выявлены особенности передачи сигнала в системе индуктивной связи, которые необходимо учитывать при использовании такой системы для обеспечения безопасности движения поездов.

В настоящее время на железных дорогах Европейского союза широкое распространение получили приборы индуктивной связи с поездами для организации системы интервального регулирования движения поездов [1]. В СССР И СНГ принцип индуктивной связи большей частью применялся при разработке систем технологической связи [2], а в [3, 4] исследовалась возможность его применения для интервального регулирования.

Для железнодорожного транспорта стран Евразийского сообщества актуальной задачей является организация трансконтинентальных транспортных коридоров с Дальнего Востока в Западную Европу. При этом потребуются унификация технических решений, используемых в системах интервального регулирования. Следовательно, становятся актуальными опытно-конструкторские разработки в этой области, в частности, индуктивной связи с поездами. Для разработки поездной приемной аппаратуры требуется, помимо прочего, исследовать форму сигнала, возникающего в приемной антенне на подвижном составе.

Уже полученные в этой области результаты имеют некоторые недостатки. Так, в [3] и [4] основным параметром модели передачи сигнала на подвижной состав принята взаимная индуктивность поездной и напольной антенн. Расчет взаимной индуктивности является сложной электродинамической задачей, точное решение которой во многих случаях затруднительно [5]. В [2] приведен анализ передачи сигнала на основе закона электромагнитной индукции. В этом подходе расчет электромагнитных процессов в системе «напольная и поездная антенна» упрощается, так как наведенная в поездной антенне ЭДС вычисляется непосредственно. Но при выводе расчетных соотношений не учтено движение поезда над напольной антенной и не получено конечное выражение для сигнала в приемной антенне. Поэтому в настоящей статье поставлена задача выполнить анализ передачи управляющего сигнала в системе индуктивной связи, основанный на законе электромагнитной индукции, при этом устранить отмеченные выше недостатки.

Для решения этой задачи предполагается, что напольная антенна индуктивной связи лежит на шпалах между рельсами и может быть аппроксимирована пря-

моугольным витком провода. Виток изолирован от земли. Порядок размеров витка составляет единицы метров и менее. Частота сигнала в напольной антенне такова, что все расстояния в задаче меньше длины волны, следовательно, связь между передающей и приемной антеннами осуществляется магнитным полем в индуктивном режиме [2].

Приемная антенна движется над осью симметрии витка с постоянной скоростью и расположена на достаточно малой высоте – высоте колесной пары. Наличие колесных пар и днища подвижного состава не учитывается [3, 4]. Размеры приемной антенны значительно меньше размеров антенны передающей.

Тогда при движении приемной антенны в магнитном поле передающей антенны в поездной антенне возникает ЭДС по закону электромагнитной индукции [2]

$$e(t) = - \frac{d\Phi}{dt}, \quad (1)$$

где e – электродвижущая сила, В; Φ – магнитный поток, Вб; t – время, с.

Магнитный поток определяется через вертикальную составляющую напряженности магнитного поля передающей антенны

$$\Phi = \mu S w H_z, \quad (2)$$

где μ – магнитная проницаемость среды, Гн/м; S – площадь приемной антенны, м²; w – число витков приемной антенны; H_z – вертикальная составляющая напряженности магнитного поля передающей антенны, А/м.

Так как высоту расположения приемной антенны нельзя считать много меньшей размеров витка (шлейфа) напольной антенны, то вертикальная составляющая напряженности магнитного поля, созданная одной стороной шлейфа, определяется по формуле [2, 5]

$$H_{zi} = \frac{i(t)}{4\pi R_i} (\sin \alpha_{1i} + \sin \alpha_{2i}) \cos \theta_i, \quad (3)$$

где i – ток в напольной антенне, А; R_i – расстояние от стороны шлейфа до основания перпендикуляра, опущенного от приемной антенны, м; α_{1i} , α_{2i} , θ_i – угловые

геометрические параметры, рад; i – номер стороны шлейфа.

Геометрическая конфигурация задачи показана на рисунке 1.

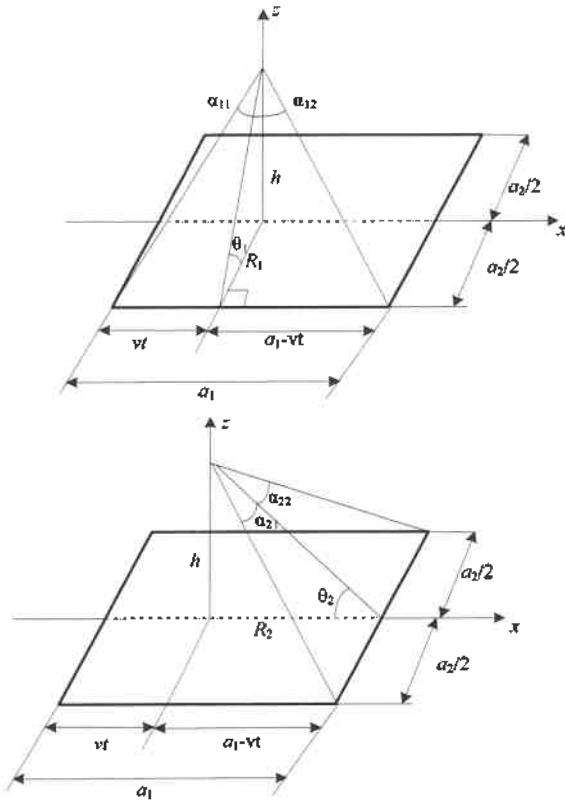


Рисунок 1 – Геометрическая конфигурация напольной антенны системы индуктивной связи

Напряженность магнитного поля и магнитный поток в приемной антенне зависят от изменяющегося во времени тока антенны и изменяющихся во времени при движении поезда угловых геометрических параметров. Для описания зависимости геометрических параметров в (3) от времени вводится модулирующая функция. Тогда после подстановки (3) в (2) и затем в (1) по правилу дифференцирования произведения получается формула для ЭДС приемной антенны [3, 4]

$$e(t) = \mu S w \left[-i(t) \frac{dF(t)}{dt} + \left(-\frac{di(t)}{dt} \right) F(t) \right] K_p, \quad (4)$$

где $F(t)$ – модулирующая функция; K_p – поправочный коэффициент, учитывающий влияние рельс.

Так как учет влияния рельс на магнитное поле передающей антенны является сложной задачей, не имеющей точного решения, то такое влияние рационально учитывать с помощью поправочного коэффициента. Этот коэффициент определяется путем натурных измерений [6].

В европейских системах индуктивной связи применяется дискретная частотно-импульсная модуляция [1]. Представление такого сигнала имеет вид [7] с учетом умножения на -1 в (4).

$$-i(t) = A \sum_{j=1}^n u \cos(\omega_j t + \varphi_j + \pi),$$

$$u = \begin{cases} 1 & \text{при } t \leq (j-1)k\tau \\ 0 & \text{при } t \geq (j-1)k\tau \end{cases}, \quad (5)$$

где A – амплитуда сигнала, A_j – номер посылки в сигнале; n – число посылок в сигнале; u – параметр модуляции; ω_j – круговая частота посылки, рад/с; φ_j – начальная фаза, рад; k – счетная переменная импульсов; τ – длительность передачи одной посылки, с.

Тогда производная сигнала с учетом умножения на -1

$$-\frac{di(t)}{dt} = A \sum_{j=1}^n u \cos\left(\omega_j t + \varphi_j + \frac{\pi}{2}\right). \quad (6)$$

Модулирующая функция находится по рисунку 1 из геометрических соображений с учетом симметрии сторон шлейфа. Для этого угловые геометрические параметры выражаются через размеры шлейфа напольной антенны, высоту расположения поезда антенны с учетом ее местонахождения на оси симметрии шлейфа. Это местонахождение изменяется при движении поезда. В результате для модулирующей функции получается выражение

$$F(t) = \left(\frac{vt}{\sqrt{(vt)^2 + \left(\frac{a_2}{2}\right)^2 + h^2}} + \frac{a_1 - vt}{\sqrt{(a_1 - vt)^2 + \left(\frac{a_2}{2}\right)^2 + h^2}} \right) \times \\ \times \frac{1}{2\pi \sqrt{\left(\frac{a_2}{2}\right)^2 + h^2}} + \\ + \frac{1}{4\pi} \frac{a_2}{\sqrt{\left[(a_1 - vt)^2 + \left(\frac{a_2}{2}\right)^2 + h^2\right] \left[(a_1 - vt)^2 + h^2\right]}} + \\ + \frac{1}{4\pi} \frac{a_2}{\sqrt{\left[(vt)^2 + \left(\frac{a_2}{2}\right)^2 + h^2\right] \left[(vt)^2 + h^2\right]}}, \quad (7)$$

где a_1, a_2 – длины сторон шлейфа, м; v – скорость движения поезда, м/с.

Производная модулирующей функции имеет вид

$$\frac{dF(t)}{dt} = \frac{1}{2\pi \sqrt{\left(\frac{a_2}{2}\right)^2 + h^2}} \times \\ \times \left(\frac{v - v^3 t^2}{\left[(vt)^2 + \left(\frac{a_2}{2}\right)^2 + h^2 \right]^{3/2}} - \frac{v(1 + (a_1 + vt)^2)}{\left[(a_1 - vt)^2 + \left(\frac{a_2}{2}\right)^2 + h^2 \right]^{3/2}} \right) +$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{-va_2(a_1 - vt)}{2\pi \sqrt{(a_1 - vt)^2 + h^2} \left[(a_1 - vt)^2 + \left(\frac{a_2}{2}\right)^2 + h^2 \right]} + \\
& + \frac{a_2 v^2 t}{2\pi \sqrt{(vt)^2 + h^2} \left[(vt)^2 + \left(\frac{a_2}{2}\right)^2 + h^2 \right]}. \quad (8)
\end{aligned}$$

Анализ соотношений позволяет сделать следующие выводы.

ЭДС в приемной антенне состоит из двух групп колебаний, одна из которых вызвана током передающей антенны, а вторая – производной тока.

Колебания в каждой группе сдвинуты по фазе относительно тока в передающей антенне. Для каждой из двух групп имеется свой сдвиг. Токи в (5) имеют сдвиг фаз π радиан, а токи в (6) – $\pi/2$ радиан.

Амплитуды колебаний каждой группы модулируются непериодической функцией скорости поезда, времени и геометрических размеров шлейфа напольной антенны. Причем зависимости имеют достаточно сложную математическую форму.

Эти особенности являются существенным отличием передачи сигнала по индуктивной связи от передачи сигнала по радиоканалу.

Полученные в статье выводы в существенных моментах совпадают с результатами, полученными в [3, 4]. Это является подтверждением адекватности примененного в статье метода расчета магнитной индукции, поскольку различные методы расчета магнитных полей не должны приводить к существенно различным выводам при анализе одинаковых технических систем. Отличие состоит в том, что в настоящей статье исследован

сигнал с дискретной частотной модуляцией, как представляющий наибольший практический интерес [1].

Полученное в результате работы математическое описание сигналов в приемной антенне системы индуктивной связи с поездами является определяющим при проектировании приемной аппаратуры. Так как системы интервального регулирования являются основным средством обеспечения безопасности движения поездов на перегонах, то при использовании в этих системах индуктивной связи должны учитываться все возможные источники ошибок приема, в том числе и связанные с особенностями принимаемого сигнала. Поэтому допустимо заключить, что полученные результаты имеют большое значение для решения вопросов практического применения индуктивной связи в системах автоматики и телемеханики на перегонах.

Список литературы

- 1 Системы автоматики и телемеханики на железных дорогах мира / Э. Андрес [и др.]; под ред. Г. Тега и С. Власенко. – М. : Интекст, 2010. – 496 с.
- 2 Радиотехнические системы железнодорожного транспорта / Ю. В. Ваванов [и др.]. – М. : Транспорт, 1991. – 303 с.
- 3 Лисенков, В. М. Индуктивная связь с поездами / В. М. Лисенков. – М. : Транспорт, 1976. – 112 с.
- 4 Системы управления движением поездов на перегонах : в 3 ч. / В. М. Лисенков [и др.]; под ред. В. М. Лисенкова. – М. : УМЦ по образованию на ж.-д. трансп., 2009. – Ч. 2 : Принципы, методы и способы реализации систем управления. – 320 с.
- 5 Аполлонский, С. М. Расчеты электромагнитных полей / С. М. Аполлонский, А. Н. Горский. – М. : Маршрут, 2006. – 992 с.
- 6 Поездная и станционная радиосвязь / Г. Н. Зражевский [и др.]. – М. : Транспорт, 1978. – 344 с.
- 7 Клюев, Л. А. Теория электрической связи / Л. А. Клюев. – Минск : Новое знание; М. : Инфра-М, 2016. – 448 с.

Получено 01.04. 2020

D. V. Komnatny. Frequency-modulated signal transmission in the train inductive carrier service systems.

The process of signal transmission in train inductive carrier system antennas is examined. It is suspended, that signal frequency such, that all overall dimensions of transmitting and receiving aerials are less then wave-length. The electromotive force in receiving aerial can be defined by law of electromagnetic induction. The discrete frequency-modulated signal transmission is examined. The computational relationships for electromotive force in receiving aerial, for current in transmitting aerial, and for modulate functions are obtained. The peculiarities of signal transmission in the inductive carrier service systems are examined. It is necessary to take into consideration this peculiarities for using such system in train safety control.

УДК 621.316.925

Е. Д. ЗАМАСТОЦКИЙ, магистр технических наук, В. Н. ГАЛУШКО, кандидат технических наук, В. А. ПАЦКЕВИЧ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ МЕТРОПОЛИТЕНА НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

В статье приводится анализ замены устаревшей аналоговой электромеханической релейной защиты и автоматики с помощью усовершенствованной микропроцессорной релейной защиты. Выполнен технико-экономический анализ и указаны положительные и отрицательные факторы при использовании микропроцессорной релейной защиты и автоматики.

В процессе функционирования электроэнергетической системы (ЭС) могут возникать повреждения, чаще всего короткие замыкания (КЗ), сопровождаемые увеличением токов через отдельные элементы ЭС. Без принятия специальных мер эти режимы могут привести к повреждению электрооборудования и нарушению электроснабжения.

Анализ существующей установленной релейной защиты на СТП-206 можно сделать следующие выводы.

1 РЗА питающей линии 825В СТП-206, «Немига», выполненная на аналоговых электромеханических реле, физически и морально устарела. РЗА эксплуатируется выше нормативного срока службы 12 лет. Количество срабатываний устройств РЗА превышает нормируемое значение.

2 Технические характеристики и функциональные возможности установленных электромеханических реле не соответствуют требуемому уровню быстродействия, чувствительности, обеспечения селективности прилегающей электрической сети.

3 Рост числа повреждений элементов релейной защиты, выявленных при техническом обслуживании и анализе случаев неправильного срабатывания устройств питающей линии.

4 Прекращение выпуска устройств электромеханических релейной защиты и запасных частей к ним, что приводит к трудностям при проведении технического обслуживания устройств релейной защиты.

В настоящее время в белорусской энергетике парк комплектных устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) в основном состоит из электромеханических устройств. При этом специалистам известно, что безотказность защиты электрооборудования, обеспечиваемая применением электромеханических и полупроводниковых панелей, составляет 97,0–98,2 %, а при использовании микропроцессорных РЗА – 98,6–99,2 %. Причем причиной неправильной работы устройств являются ошибки эксплуатационного персонала – 33,9 %. Дефекты и неисправности аппаратуры приводят к сбоям в 24,4 % (доля дефектов электромеханических устройств – 19,1 %, а микроэлектронных и полупроводниковых – 5,3 %). Очевидно, что важность выполняемых устройствами РЗА функций по обеспечению локализации повреждений и предотвращению развития аварий в энергосистемах обуславливает необходимость скорейшего технического перевооружения систем РЗА на основе применения микропроцессорных устройств [1].

Кроме того, все терминалы защит подключаются к системе SCADA, на которой отображается вся схема подстанции, значения нагрузок по каждому присоеди-

нению, напряжение на шинах подстанции, а также фиксация в реальном времени возникших аварийных ситуаций. Синхронизация систем SCADA подстанций с диспетчерским пунктом позволяет дежурному диспетчеру своевременно фиксировать возникшие аварийные ситуации, контролировать процесс переключений оперативного персонала. Перед выдачей разрешения на допуск бригады для проведения плановых работ, дежурный диспетчер, благодаря системе SCADA, может лично убедиться в правильности и достаточности принятых мер безопасности.

Однако у микропроцессоров существует проблема влияния внешних электромагнитных излучений, а также они требуют обновления программного продукта, который устаревает гораздо быстрее, чем техника.

Статистика показывает, что более 30 % всех отказов устройств релейной защиты связано с ошибками персонала. При имеющейся тенденции к сокращению обслуживающего персонала одним из путей решения вопроса является расширение использования автоматических средств проверки, что сокращает как время и затраты на проверку, так и возможные ошибки при проверке, выполняемой по заданной программе в автоматическом режиме. Одновременно повышается и достоверность результатов, фиксируемых итоговым документом – протоколом испытаний, создаваемым самой программой. Существенно облегчаются последующие периодические проверки.

Аппаратура фидерной защиты и автоматики (АФЗА) является модернизированной версией аппаратуры защиты (АЗМ2). Аппаратура фидерной защиты и автоматики (АФЗА) предназначена для эксплуатации в составе комплектного распределительного устройства совместно с быстродействующим выключателем (БВ) на тяговых подстанциях городского транспорта постоянного тока напряжением до 1,0 кВ (0,825 кВ для метрополитена и 0,630 кВ для трамвая, троллейбуса).

АФЗА используется в качестве основной защиты фидера, дополнительно к используемой защите БВ, осуществляемой реле дифференциальным шинным (РДШ).

Аппаратура защиты АФЗА обеспечивает следующие функции:

- защиты (8 алгоритмов, быстродействие 1 мс);
- автоматического повторного включения быстродействующего выключателя с настраиваемыми уставками (одно-, двух- или трехкратное);
- местного и дистанционного управления ячейкой (управление быстродействующим выключателем и пе-

релючечателем запасной шины с панели контроллера, по дискретной или цифровой телемеханике);

- диагностики быстродействующего выключателя (контроль положения, недовключения, времени переключения, расчет ресурса выключателя);

- измерения, осциллографирования процессов, происходящих в тяговой сети и архивирования аварийных процессов;

- расчёта электроэнергии.

В АФЗА реализован цифровой канал связи RS-485 с протоколом ModBus RTU, позволяющий обеспечить дистанционное управление быстродействующим выключателем и четырьмя линейными разъединителями, опрос положения их блок-контактов, получение осциллограмм измеряемых АФЗА тока и напряжения, считывание аварийных массивов, синхронизацию часов, ввод и изменение уставок защит.

Система мониторинга и защиты тяговой сети серии SMTN-3 предназначена для применения в качестве устройства защиты тяговой сети от токов короткого замыкания и недопустимых перегрузок, мониторинга параметров тяговой сети, применения в качестве устройства накопления данных для последующего анализа произошедших аварийных процессов.

SMTN-3 используются в распределительных устройствах (РУ) тяговых подстанций городского транспорта, метрополитена, электрифицированных железных дорог, промышленных предприятий, а также для предприятий горнодобывающей промышленности. Устройство не включает в себя функцию АУВ, поэтому подразумевается использование совместно с уже существующей схемой управления и АПВ выключателя или с отдельным терминалом АУВ. Устройство является комбинированным микропроцессорным устройством релейной защиты. Применение в устройстве модульной микропроцессорной архитектуры наряду с современными технологиями поверхностного монтажа обеспечивают высокую надежность, большую вычислительную мощность и быстродействие, а также высокую точность измерения электрических величин и временных интервалов, что дает возможность повысить чувствительность защитных функций. Реализованные в устройстве алгоритмы функций защиты и автоматики, а также схемы подключения устройства разработаны в сотрудничестве с представителями энергосистем, что облегчает внедрение новой техники проектировщикам и эксплуатационному персоналу. Элементная база входных и выходных цепей обеспечивает совместимость SMTN-3 с любыми типами устройств автоматики разных производителей: электромеханическими, электронными, аналого-цифровыми, микропроцессорными.

SMTN-3 обеспечивает следующие эксплуатационные возможности:

- выполнение функций защит тяговой сети от токов короткого замыкания и недопустимых перегрузок;

- сигнализацию срабатывания защит и неисправности SMTN-3;

- задание внутренней конфигурации (ввод защит, выбор защитных характеристик, количество ступеней защиты и т. д.) программным способом;

- местный и дистанционный ввод, хранение и отображение уставок защит;

- хранение двух наборов уставок (программ) и переключение наборов уставок по внешнему сигналу;

- измерение и отображение текущих электрических параметров тяговой сети;

- считывание из SMTN-3 текущих электрических параметров тяговой сети системой верхнего уровня;

- осциллографирование электрических параметров тяговой сети при возникновении аварийных процессов;

- хранение и отображение осциллограмм, а также передачу их в систему верхнего уровня данных для последующего анализа;

- хранение и выдачу информации о количестве и времени срабатываний защит SMTN-3;

- учет количества отключений выключателя;

- контроль и индикацию положения выключателя;

- диагностику ресурса выключателя;

- непрерывный оперативный контроль работоспособности (самодиагностику) в течение всего времени работы;

- защиту от ложных срабатываний дискретных входных цепей SMTN-3 при нарушениях изоляции в цепях оперативного тока КРУ и кратковременных наведенных помехах;

- двустороннюю передачу данных между SMTN-3 и АСУ, ПЭВМ по стандартным каналам связи;

- синхронизацию внутренних часов SMTN-3 от внешнего устройства;

- свободное назначение входов/выходов;

- гальваническую развязку всех входов и выходов, включая питание и аналоговые входы, для обеспечения высокой помехозащищенности и безопасности;

- высокое сопротивление и прочность изоляции входов и выходов относительно корпуса и между собой для повышения устойчивости SMTN-3 к перенапряжениям, возникающим во вторичных цепях.

Показатель конкурентноспособности по отношению к базовому объекту

$$k_{\text{ты}} = \frac{k_{\text{тыSMTN-3}}}{k_{\text{тыАФЗН}}} = \frac{0,73}{0,67} = 1,083.$$

Имеется опыт эксплуатации SMTN-3 у «Минский метрополитен» с 2016 года, а также высокий уровень технической поддержки компании «Плутон групп», которая берёт микропроцессорные блоки на диагностику.

Были проанализированы микропроцессорные устройства РЗА различных производителей. Описаны преимущества и недостатки каждого из блоков. Был выбран окончательный вариант микропроцессорного блока, для установки на питающей линии 825В СТП-206 «Немига».

В рамках исследования предусматривалась установка системы мониторинга и защит тяговой сети РУ – 825 кВ на отходящих линиях.

В состав системы для передачи данных с SMTN-3 должны входить функциональные подсистемы: подсистема цифровых измерительных комплексов (ЦИК); подсистема устройства сбора и передачи данных (УСПД); подсистема передачи данных. Анализ технического уровня представлен в таблице 1.

Технические средства включают (рисунки 1):

- 1) модуль измерительный и модуль преобразовательный;

- 2) устройства сбора и передачи данных (УСПД), подключаемые с одной стороны по цифровым интерфейсам к преобразовательному блоку;

- 3) средства телекоммуникации между УСПД и преобразовательным блоком.

Таблица 1 – Оценка технического уровня новшества

Характеристика	Вес показателей	SMTN-3		АФЗА		Гипотетический объект	
	d_i	p_i	q_i	p_i	q_i	p_{100}	q_{100}
Время срабатывания, мс, не менее	0,2	50	0,40	70	0,29	20	1
Устойчивость к перегрузке по напряжению питания, В	0,15	253	0,84	264	0,88	300	1
Устойчивость к прерыванию напряжения питания, с	0,11	1	1,00	0,8	0,80	1	1
Относительная основная погрешность измерения тока, %	0,1	4	0,50	5	0,40	2	1
Термическая стойкость аналоговых входов тока, А	0,1	10	0,40	25	1,00	25	1
Срок службы, лет	0,09	20	1,00	12	0,60	20	1
Количество выполняемых функций, шт.	0,07	40	0,89	36	0,80	45	1
Количество измеряемых величин, шт.	0,06	12	1,00	11	0,92	12	1
Количество дискретных входов, шт.	0,06	50	1,00	44	0,88	50	1
Количество дискретных выходов, шт.	0,06	40	0,8	30	0,6	50	1
Полезный эффект новшества (интегральный показатель качества)	–	0,73		0,67		1	

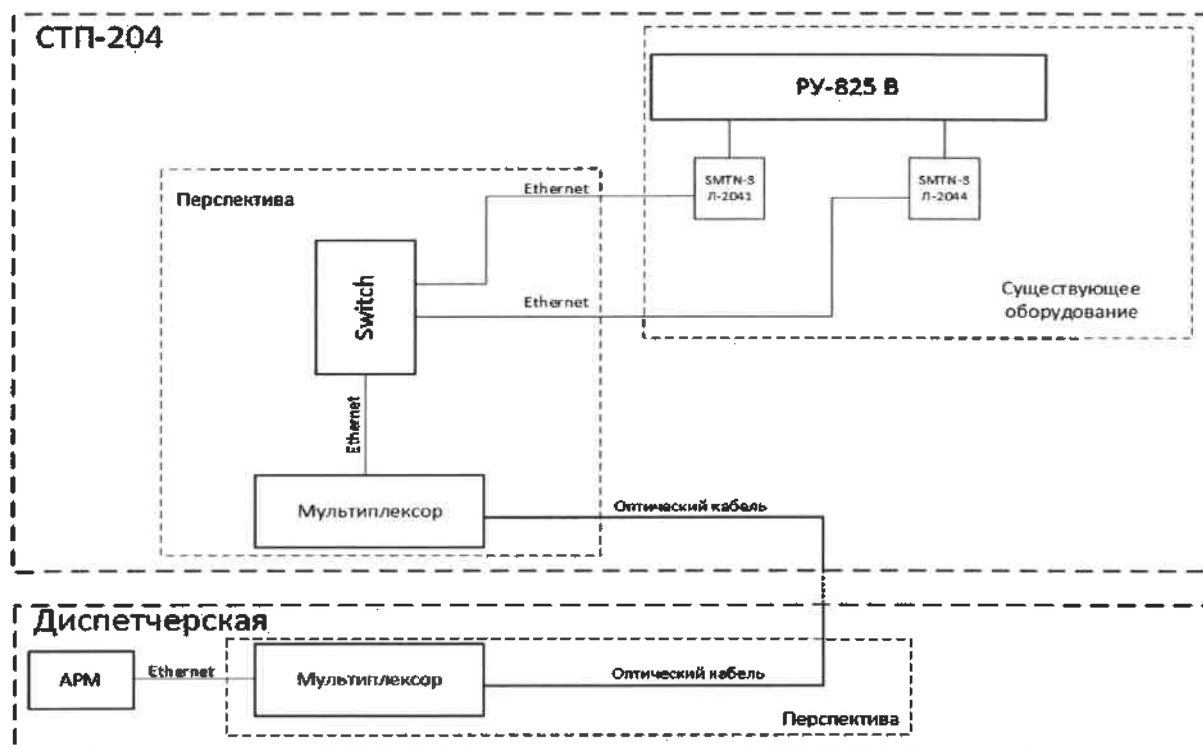


Рисунок 1 – Структурная схема диспетчеризации SMTN-3

Для повышения надёжности необходимо резервирование отдельных компонентов системы и использование избыточной информации.

Оборудование имеет встроенные функции контроля, а также механизмы фиксации событий по сбоям, проверку работоспособности и обнаружение отказов.

Система защиты от несанкционированного доступа должна обеспечивать:

- доступ к информации в соответствии с полномочиями;
- пломбирование на аппаратном уровне промежуточных и измерительных цепях;
- получение информации о нарушениях в системах защит в отдельных программно-технических комплексах и функциональных подсистемах;

– многоуровневость защиты: уровень системы, уровень устройства, уровень задачи, уровень данных.

Экономическая эффективность релейной защиты определяется предотвращённым ущербом внедрения средств РЗА [2]. Экономическая выгода вследствие применения микропроцессорных устройств РЗА составила 4505 руб./год. Статический срок окупаемости составляет 3,86 года.

Весьма существенный экономический эффект может быть получен благодаря такой особенности цифровых реле, как измерение и запоминание значений токов КЗ. Цифровые реле позволяют дистанционно определить место повреждения кабельной линии с достаточно большой точностью, что даёт возможность не только

сберечь средства для обхода повреждённой линии, но и, главным образом, уменьшить время перерыва электроснабжения и ущерб потребителей.

Оценивая экономический эффект от использования микропроцессорной РЗ в денежном выражении, нельзя забывать и о других положительных факторах, которые появляются благодаря цифровой РЗА, в том числе повышение безопасности персонала, обслуживающего электроустановки, приобщение специалистов-электриков к современному аппаратному и программному обеспечению АСУ электроустановок, в том числе РЗА,

повышение культуры эксплуатации и улучшение условий труда работников энергетических предприятий.

Капиталовложения во внедрение системы диспетчирования составили 15455 руб.

Список литературы

1 Шнейерсон, Э. М. Цифровая релейная защита / Э. М. Шнейерсон. – М. : Энергия, 2007. – 198 с.

2 Быков, Е. И. Электроснабжение метрополитенов. Устройство, эксплуатация и проектирование / Е. И. Быков. – М. : Транспорт, 1977. – 431 с.

Получено 30.12.2019

E. D. Zamastotsky, V. N. Galushko, V. A. Patskevich. Improvement of relay protection and automation of traction subways of metropolet based on the system of monitoring electrical parameters.

The article provides an analysis of the replacement of obsolete analogue electromechanical relay protection and automation using advanced microprocessor relay protection. A feasibility study is performed and positive and negative factors are indicated when using microprocessor relay protection and automation.

УДК 625.731.8

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

РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ СОЗДАНИЯ И РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПассаЖИРОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ С СЕРЕДИНЫ XIX ДО НАЧАЛА XX ВЕКА

Работа пассажирских станций и вокзальных комплексов сегодня – это новейшее оборудование автоматики, телемеханики и связи, а также информационное обеспечение перевозочного процесса. Но так было не всегда, о чем свидетельствует длительный период создания и развития вышеперечисленных систем и оборудования, эволюционировавших под воздействием таких факторов, как увеличение пассажиропотока, изменение его структуры, совершенствование технической оснащённости вокзала и станции, кооперация с другими видами транспорта, включение в состав комплекса самостоятельных функциональных групп.

В связи с этим целесообразно выполнить ретроспективный анализ совершенствования технической оснащённости вокзала и станции на железнодорожном транспорте по информационному обеспечению пассажиров, который позволит сформировать целостную картину их развития в инфраструктуре железной дороги.

Выполнение пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте предполагает применение развитой системы информирования пассажиров как на вокзале, так и на всём пути следования, как при отправлении, так и прибытии. При этом следует отметить, что первый в мире железнодорожный вокзал Ливерпуль-Роуд был открыт в 1830 г. в Манчестере (Великобритания) в связи с введением в эксплуатацию железной дороги Ливерпуль – Манчестер. С этого периода начинается формирование и развитие его инфраструктуры, включающей информационное обеспечение пассажиров. Первоначальным информационным пунктом внутри вокзала становится специально выделенное помещение – справочное бюро, располагавшееся, как правило, на самом видном месте в вестибюле. Вторым информационным аспектом следует считать названия вокзалов, которые в своем большинстве означали конечный пункт железной дороги: Рязанский вокзал – поездка до Рязани, Павелецкий – до Павельца, аналогичные названия получили Смоленский (ныне Белорусский), Виндавский (ныне Рижский) и т. п. Аналогичную ситуацию можно наблюдать с наименованиями ряда зарубежных вокзалов: Лионский и Сен-Жермен в Париже (Франция), Потсдамский и Штетинский в Берлине (Германия).

Однако не всегда название вокзала соответствовало направлению. Например, Ливерпульский вокзал в Лондоне не означал, что с него можно проехать до Ливерпуля. Ливерпульский вокзал обслуживает восточное направление, но располагался на Ливерпульской улице, или Кеннон-Стрит стэйшн, можно прочесть как вокзал на Пушечной улице, Мерилебон-Роуд стэйшн – вокзал у дороги и т. п.

Вокзалы как пункты зарождения и погашения пассажиропотоков требуют особых средств их организации, а также определенных методов конструирования оборудования и использования элементов художественной выразительности, ибо человек, начинающий или заканчивающий свое путешествие, более эмоционально воспринимает окружающее пространство.

Представляет интерес с информативной точки зрения и архитектура старых вокзалов, в которой важную роль играли арки, пропилеи, порталы, ориентировавшие людей при подходе к зданию и выходу на перрон. Среди архитектурных средств коммуникаций особое место занимала башня с часами, аналогичная башне городской ратуши, являющейся важнейшим атрибутом городских площадей европейских стран (рисунок 1).



Рисунок 1 – Железнодорожный вокзал Брюсселя, середина XIX века

Сегодня можно с уверенностью сказать, что это удачное решение продолжает «жить» и в современных вокзалах различных видов транспорта и стало символом вокзальной архитектуры (рисунок 2).




Рисунок 2 – Центральный железнодорожный вокзал Антверпена, начало XXI века

Рассмотрим некоторые аспекты эволюции информационных средств с середины XIX века до начала XX века, когда на первых вокзалах пассажиров, отправлявшихся в поездку, оповещали с помощью неподвижных шрифтовых указателей, обозначающих номера платформ и время отправления. Позже появились звуковые сигналы: сначала рожок, затем паровой свисток и вокзальный колокол, возвещавшие об отправлении поездов. Использовались также световые сигналы, зажигавшиеся во время выпуска пассажиров на платформы и над помещениями касс в период работы кассиров. Может быть выделено несколько групп информационного обеспечения, среди которых постоянное (стационарное), располагающееся на вокзалах (железнодорожных станциях), передвижное (внешнее), имеющееся в пассажирских поездах и т. п. (таблица 1) [1–3].

Таблица 1 – Краткая характеристика периодов создания и развития информационного обеспечения пассажиров на железнодорожном транспорте в середине XIX в.

Период	Информационное обеспечение	Краткая характеристика
<i>Стационарные устройства</i>		
1830 г.	Неподвижные шрифтовые указатели	Обозначение номера платформы и времени отправления поезда
	Сигнальная верёвка (проложена через все вагоны)	Сигнал о необходимости остановки поезда
1853 г.	Оптический телеграф	Предоставление пассажирам возможности платной передачи информации
		
1890 г.	Круглосуточные буфеты на железнодорожных вокзалах	Обеспечение пассажиров питанием
	Механические весы-автоматы с круговым циферблатом	Сравнение веса до и после путешествия на поезде
	Автоматическая фотографирующая машина	Моментальная фотография
1900 г.	Специальные щиты в залах ожидания с постоянным расписанием поездов	Информирование пассажиров о движении поездов по маршрутам следования
<i>Передвижные сигналы</i>		
1879 г.	Цветовое оформление пассажирских вагонов согласно классу	I класс – синий цвет II – желтый, светлорыжий или золотистый III – зеленый IV – серый Вагоны-микст – два разных цвета в зависимости от класса

Окончание таблицы 1

<i>Звуковые устройства</i>		
1835 г.	Паровой свисток (однонозовый)	Обеспечение безопасного и надежного движения поездов (звуковой сигнал об отпращивании или прибытии поездов)
	Кондукторский свисток	
1847 г.	Вокзальный колокол	
1850 г.	Сигнальный духовой рожок	Обеспечение безопасного нахождения пассажиров на перроне
	Ручной свисток	Сигнал для отпращивания поезда
1850 г.	Ручной колокольчик	Регламентация работы вокзального буфета
1886 г.	Телефон	Телефонное сообщение
<i>Световые устройства</i>		
Середина XIX в.	Ручной фонарь	Освещение выхода пассажиров на платформы в вечернее время суток
		Освещение помещений касс в период работы кассиров
	Флажки (красный и зеленый)	Сигнал об отпращивании поезда (или аварийной ситуации)
1860 г.	Сигнальные щиты	Регламентация работы железнодорожной станции по приему и отпращиванию поездов

Помимо вышеизложенного следует отметить проездной билет как важнейший для пассажира информационный атрибут, применение которого относится к 1837 г. Первоначально билет представлял собой металлический жетон, где был выбит номер вагона и место, который по прибытии на станцию назначения необходимо было сдать при выходе кондуктору. Эти билеты были многоцветными и получили название «жестянки» (рисунок 3).



Рисунок 3 – Билет «жестянка» – многоцветный жетон

Далее в Европе и России в 1840 г. билет производится на картоне размером в треть современной банковской карточки (5 × 2,5 см), на котором были отпечатаны типографским способом станция отправления, станция назначения, класс билета, его тип, маршрут,

цена за проезд, серия и номер. Билеты разных классов отличались друг от друга цветом (рисунок 4).



Рисунок 4 – Билет «картонка» на проезд в поезде

При продаже билетов для предотвращения столпотворения у окон касс, на вокзалах стали применять специальный барьер (прототип турникета), позволявший подойти к окошку только одному человеку. Это помогало соблюдать очередность приобретения билетов и обеспечивать распределение пассажиропотоков, не допуская столпотворения. Часто роль такого барьера выполнял особый столик, на который пассажир мог поставить ручную кладь.

Одновременно с открытием железных дорог были введены различные сигналы (звуковые, световые и др.), информировавшие пассажиров об отправлении поезда. С этой целью применялись станционные колокола, первый звонок которого, т. е. один удар, на конечных станциях обозначал посадку пассажиров в поезд, а на промежуточных – время прибытия поезда. Второй звонок (два удара) служил для объявления пассажирам требования садиться на свои места в вагонах. Третий звонок (три удара) – информирование пассажиров об отправлении поезда. Звон того же колокола, но без счета ударов, оповещал служащих на станции о выходе поезда с соседней станции. В случае пожаров или других несчастий, требующих созыва служащих, станционные колокола использовались для набата.

Станционные колокола находились в эксплуатации на железных дорогах до 1914 года.

Следует отметить, что обязательным атрибутом дорожных сторожей или стрелочников был сигнальный рожок. Так, днем они должны были иметь при себе флажки (красный и зеленый), а ночью и в туманную погоду – «зажженный фонарь» и всегда, без исключения, сигнальный рожок, продолжительный звук которого означал команду «Слушай». При приближении поезда, рожок сторожа звучал дважды и достаточно долго. При этом несколько отрывочных и часто повторяемых сигналов рожка возвещали о тревоге, созывая соседних сторожей и ремонтных рабочих, что также являлось одним из мероприятий по обеспечению безопасности движения поездов.

Представленные средства информации, не отличавшиеся сложностью устройств, доказывают необходимость не только их применения, но и дальнейшего развития, что позволило через некоторый промежуток времени сформировать по каждому из представленных направлений различные информационные службы. Например, с появлением телефона сформировалась

справочная телефонная служба вокзала, а с изобретением радио – акустические средства оповещения как пассажиров, так и работников станций. При этом, как показала практика, звуковых и световых способов передачи информации недостаточно с учетом увеличения объемов выполняемой работы по перевозке пассажиров и грузов на железных дорогах.

В связи с этим следующим направлением для обеспечения более полного информирования населения является визуализация информации, которая первоначально появилась в виде рисуночного знакового письма – пиктограмм стационарных устройств, а сегодня широко представлена в новых формах визуальных коммуникаций на основе электроники, вытесняя громкоговорящее оповещение на вокзалах. Так, в Бельгии в 1956 году, впервые на железнодорожном вокзале было установлено перекидное табло отправления, черные перекидные карточки которого стали одним из символов дизайна середины XX века. Эти щиты, называемые табло Solari в честь итальянской компании, которая первой запустила их производство, стали известны благодаря характерному шуму и щелчкам, издаваемым во время работы. Щелкающий шум табло означает, что на нем появилась новая информация в расписании движения поездов или другого вида транспорта, а это, по мнению многих пассажиров, является позитивным, успокаивающим фактором в случае ожидания отправления на вокзале.

В начале 70-х годов XX века советскими исследователями шрифтов и пиктограмм Н. Беляевым, В. Долженковым, Л. Попковой, Л. Вдовиным, Т. Гушевой, М. Дреминой, Ю. Филленковым через сравнительную проверку существующих и специально созданных экспериментальных знаков установлены наиболее предпочтительные формы представления информации. Ими изучалось строение графических знаков с позиций семиотики и технической эстетики и были рассмотрены различные уровни конкретности обозначения объектов: конкретно-изобразительный, схематизированный, абстрактно-изобразительный, словесный, комбинированный – и, помимо этого, исследованы риторические соотношения понятийного и изобразительного образов, а также проанализированы различные аспекты обозначения (информирующий, предписывающий, оценочный и формальный), характерные для данного типа знаков. Также подробно рассматривалась композиционная структура знаков. В результате было установлено, что на формообразование знака оказывают влияние такие факторы, как форма обозначаемого объекта, способ его употребления, назначение знака и его место в системе коммуникации, условия восприятия знака, пространственная организация вокзального комплекса, графический стиль всей знаковой системы. Данное исследование показало, что утилитарно-практическая функция знака (полная информация об объекте) является приоритетной, ее дополняют другие функции, например эстетическая.

Помимо этого, данные исследования подтвердили экспериментально зависимость эффективности знаковых средств от комплекса внешних и внутренних факторов как звеньев определенной практической деятельности, которую определяет основной принцип художественно-конструкторского проектирования – форма

знака должна соответствовать его назначению и условиям применения. Набор и соотношение определяющих факторов не одинаковы для всех знаков, так как одни знаки рассчитаны на общее моментальное и точное восприятие, другие требуют продолжительного ознакомления и важны лишь для части пассажиров. В результате в каждом виде знаков преобладает совершенно определенное соотношение функций [4, 5].

Классификация графических знаков, применяемых на вокзалах для информирования пассажиров как в XIX, так и XX вв., в зависимости от их назначения приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Краткая характеристика графических знаков

Графический знак	Краткая характеристика
Указатели направления движения	Ввод пассажира в вокзальное пространство
Указатели месторасположения	Обозначение помещений мест общего пользования
Информирующие средства коммуникации	Справочные установки, расписания, схемы и сводные указатели, объявления
Предписывающие (инструктирующие) средства коммуникации	Правила и инструкции
Визуальные средства пропаганды и агитации	Плакаты и афиши политического, технического, санитарно-просветительного содержания

При анализе таблицы 2, графические знаки более эффективны по их восприятию и облегчают поиск конкретной информации, сокращают количество рассматриваемых вариантов. Например, за более чем 100-летний период работы железных дорог мы знаем, что на любом вокзале, в любом городе, включая зарубежные поездки, мы всегда по указателям, даже не владея иностранным языком, можем без труда найти вход/выход в/из вокзала, а также камеры хранения багажа и ручной клади, мел-пункт и т. п. Так, через структурную функциональную организацию знаковых средств, обеспечивающих определенную систему практических действий, была создана система визуальной коммуникации [4, 5].

Помимо этого, в середине XX века советскими специалистами ВНИИТЭ активно изучалось цветовое сочетание знаков сине-зеленого с белым, которое входит в гамму информирующих цветов и хорошо соответствует железнодорожной среде. Установлено, что тре-

тий цвет желательно вводить в некоторых предписывающих указателях, где цвет малоинформативен. Специально для данной системы знаков был разработан шрифт, который отличается наиболее читабельными пропорциями и конфигурацией букв. Так, при исходной высоте шрифта 12 см ширина букв типа «Н» и «П» должна быть 9 см, толщина основного штриха – 24 мм, дополнительного или горизонтального штриха – 21 мм. При этом очень важна величина внутрибуквенного просвета для букв типа «П», «Н», которая принимается равной 42 мм. Среднюю величину межбуквенного просвета следует брать равной 1/4 высоты буквы. Это обеспечивает хорошую читаемость текста. Как показали исследования, пропорции узкого шрифта должны быть 1:2 и при высоте буквы 12 см толщина основного штриха – 18 мм, поперечного – 16 мм. Чтобы свести к минимуму языковые ограничения в понимании информации, предлагается широко использовать изобразительные графические знаки (пиктограммы) для обозначения различных служб и наиболее посещаемых пассажирами мест.

Таким образом, исторический анализ показал, что большая смысловая нагрузка указательных знаков и пиктограмм, обладающих универсальностью и доступностью понимания, позволили широко использовать их для информации пассажиров на протяжении длительного периода эксплуатации железных дорог. При этом первоначальная планировка помещений вокзала с имеющимися архитектурными формами и инфраструктурой позволила в дальнейшем обеспечить поточность следования пассажиров, разделение пассажиропотоков по прибытию и отправлению, дальнему и пригородному сообщению, а также безопасность прохода пассажиров к поездам и от поездов.

Список литературы

- 1 Абрамов, А. А. История железнодорожного транспорта (краткий курс) : учеб. пособие / А. А. Абрамов. – М. : РГОТУПС, 2003. – 309 с.
- 2 Аксененко, Н. Е. Железные дороги России: от реформы к реформе / Н. Е. Аксененко, Б. М. Лапидус, А. С. Мишарин, 2001. – М., 2001. – 335 с.
- 3 Васильев, Е. В. Архитектура железнодорожных вокзалов / Е. В. Васильев, Н. Н. Щетинин. – М., 1967. – 275 с.
- 4 Голубев, Г. Е. Современные вокзалы / Г. Е. Голубев, Г. М. Анджелини, А. Ф. Модоров. – М., 1967. – 207 с.
- 5 Батырев, В. М. Вокзалы / В. М. Батырев. – М., 1988. – 216 с.

Получено 01.04.2020

T. A. Vlasuk, A. N. Belous. Retrospective analysis of the creation and development of information support for passengers in railway transport since the mid-nineteenth to the early twentieth century.

The work of passenger stations and railway complexes today is the latest equipment for automation, telemechanics and communications, as well as information support for the transportation process. But it was not always so, as evidenced by the long period of creation and development of the above systems and equipment that have evolved under the influence of such factors as an increase in passenger traffic, the change of its structure, improvement of technical equipment of the stations, cooperation with other modes of transport, the inclusion of complex functional groups.

In this regard, it is advisable to perform a retrospective analysis of improving the technical equipment of the railway station and the station on the railway transport for information support of passengers, which will form a complete picture of their development as an element of the railway infrastructure.

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

УДК 656.13

*Д. В. КАПСКИЙ, доктор технических наук, Белорусский национальный технический университет, г. Минск,
Д. П. ХОДОСКИН, магистр технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОНФЛИКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АВТОМОБИЛЕЙ В ПОПУТНОМ ТРАНСПОРТНОМ ПОТОКЕ

Вычислительно-аналитический алгоритм базируется на программном пакете MsOffice. Он включает три взаимосвязанных модуля, позволяющих моделировать процесс конфликтного взаимодействия между лидирующим и ведомым автомобилями. Его формализация позволяет аналитически определять потенциальную опасность и местоположение зоны дилеммы. Результаты проводимой вычислительно-аналитической работы представляются в графической форме с выведением соответствующих зависимостей и итоговых результатов, удобной для восприятия пользователем и дальнейшей работы с ними.

Разработанный авторский комплексный алгоритм, состоящий из трех взаимосвязанных модулей, предназначенных для моделирования конфликтного взаимодействия лидирующего и ведомого автомобилей, для определения местоположения зоны дилеммы и определения потенциальной опасности в попутном потоке, основывается на результатах диссертационной работы, посвященной снижению аварийности в конфликте попутного транспорта при подъезде к регулируемому перекрестку (РПК).

Модуль для моделирования конфликтного взаимодействия лидирующего и ведомого автомобилей базируется на модели конфликтного взаимодействия лидирующего и ведомого автомобилей, положения которой изложены в работе [1]. В результате применения основных формул данной модели предложена следующая система условий, при соблюдении которых между парой автомобилей не произойдет ни столкновения с ударом сзади (попутного столкновения), ни конфликтной ситуации (КФС), ни выезда их обоих за стоп-линию:

$$\begin{cases} S_A^\Phi \geq S_A + S_{oA}, \\ S_B^\Phi - l_B \geq S_{oB}, \\ S_\Delta \geq 1,5 \text{ м}, \end{cases} \quad (1)$$

где S_A^Φ – фактическое расстояние от передней части автомобиля А (ведомый) до стоп-линии в момент положения автомобилей АБ, м; S_A – расстояние, пройденное ведомым автомобилем за время реакции водителя лидирующего автомобиля, м; S_{oB} , S_{oA} – остановочный путь лидирующего (ведомого) автомобиля, м; S_B^Φ – фактическое расстояние от задней части автомобиля Б (лидирующий) до стоп-линии в момент положения автомобилей АБ (положение автомобилей в момент, когда водитель автомобиля Б видит, что загорается желтый сигнал (ЖС)), м; l_B – длина автомобиля Б, м; S_Δ – расстояние между автомобилями в момент их остановки, м;

При соблюдении первого и второго неравенств системы (1) выезд ведомого и лидирующего автомобилей соответственно за стоп-линию не произойдет. При со-

блюдении третьего неравенства не произойдет столкновения с ударом сзади и не будет спровоцирована КФС. Столкновение с ударом сзади будет иметь место при $S_\Delta \leq 0$, а конфликтная ситуация в случае $0 < S_\Delta < 1,5$.

Базируясь на основных зависимостях, изложенных в работе [1], и системы (1), на основе пакета *Microsoft Office Excel* разработан модуль для моделирования движения лидирующего и ведомого автомобилей при подъезде к стоп-линии при загорающемся ЖС, включающий взаимосвязанные блоки: для ввода параметров, непосредственно расчетный и аналитический блоки и блок вывода полученного результата (рисунок 1).

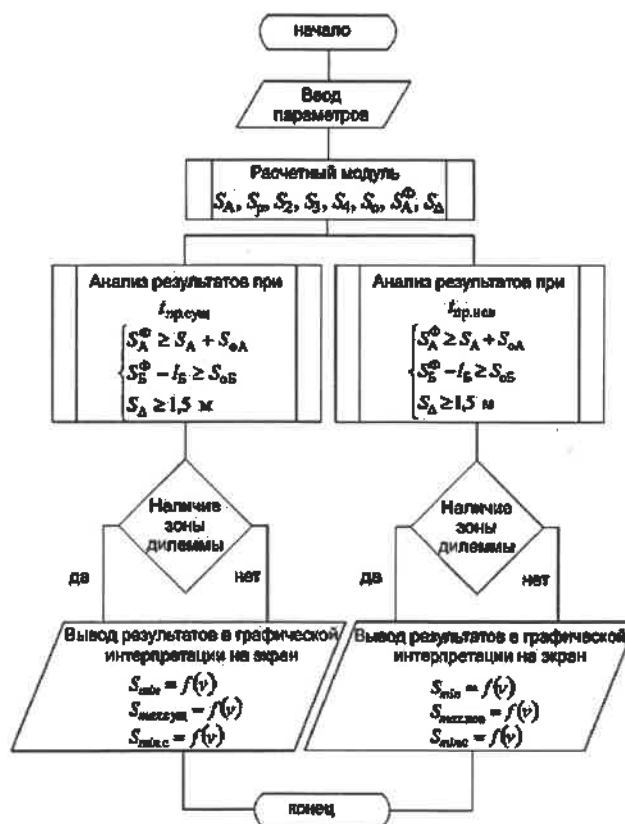


Рисунок 1 – Блок-схема модуля для моделирования конфликтного взаимодействия лидирующего и ведомого автомобилей

Для расчетов используются следующие данные:

- время реакции водителей лидирующего и ведомого автомобилей $t_{рБ}$ и $t_{рА}$ соответственно, с;
- время запаздывания срабатывания тормозного привода: для лидирующего – $t_{2Б}$ и ведомого – $t_{2А}$, с;
- скорости лидирующего и ведомого автомобилей v_B и v_A соответственно, м/с;
- замедления лидирующего и ведомого автомобилей j_B и j_A соответственно, м/с²;
- фактическая дистанция между автомобилями S_d , м;
- длина лидирующего автомобиля l_B , м;
- фактическое расстояние от задней части автомобиля Б до стоп-линии в момент положения автомобилей АБ – S_B^Φ , м;
- величина B , м, характеризующая обязательное местоположение автомобиля в конце переходного интервала [2];
- продолжительность существующего и предлагаемого переходных интервалов $t_{пр(сущ)}$ и $t_{пр(нов)}$.

Часть исходных данных измеряется на объекте (v_A , v_B , B , $t_{пр(сущ)}$), а часть может задаваться пользователем в определенном диапазоне (j_A , j_B , S_B^Φ , $t_{пр(нов)}$).

В аналитическом блоке при осуществлении обработки введенного набора исходных данных основными ограничениями при моделировании движения выступают следующие: осуществляется моделирование движения пары легковых автомобилей; вводимые значения замедлений обоих автомобилей должны находиться в интервале от 1,2 до 8,1 м/с². Блок вывода результата представляет полученный результат в удобной для пользователя форме – в виде полученных искомых параметров и графической интерпретации расположения конфликтной зоны.

Примеры использования составленного алгоритма на опытном РПК при различных комбинациях исходных параметров представлены в работах [1, 3]. Предусматривается на основании ряда вводимых исходных параметров выполнение расчета и представление графической модели взаимодействия автомобилей. Производится расчет расстояний S_{min} , $S_{min c}$, S_{max} [2] и на их соотношении базируются выводы о присутствии в конкретном случае зоны дилеммы, достаточности переходного интервала для «прорывающихся» автомобилей, вероятности выезда как лидирующего, так и ведомого автомобилей за стоп-линию и возможности возникновения как КФС между ними, так и столкновения с ударом сзади.

Модуль для определения местоположения зоны дилеммы. На базе основных зависимостей, изложенных в работе [2], и пакета *Microsoft Office Excel* разработан модуль алгоритма для определения местоположения зоны дилеммы. Он состоит из следующих блоков: ввода параметров, расчетного и аналитического блоков и блока вывода результата (рисунок 2).

В данном модуле на основании ряда вводимых исходных параметров производится определение типа конфликтной зоны (инертная или активная типы зоны дилеммы) – на основе соотношения искомых расстоя-

ний S_{min} , $S_{min c}$, S_{max} – и расчет ее протяженности [1, 2]. Авторами проанализированы имеющиеся в работах [4–9] и другие теоретические положения и на их основе выработаны следующие два авторских типа зоны дилеммы:

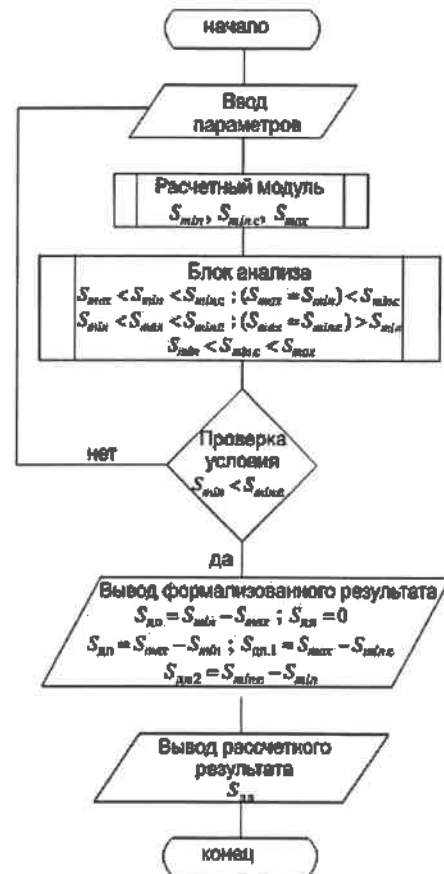


Рисунок 2 – Блок-схема модуля определения местоположения зоны дилеммы

– «инертная» зона дилеммы базируется на принципе – когда водитель попадает в нее, он не может ни безопасно остановиться (с применением аварийного замедления и с выездом за стоп-линию), ни безопасно пересечь перекресток (что с высокой вероятностью может привести к межфазным столкновениям);

– «активная» зона дилеммы основывается на следующем принципе: если водитель попадает в нее, то он может выбрать из двух вариантов – продолжить движение через перекресток либо остановиться перед стоп-линией, с разделением согласно применяемой величине замедления данной зоны на два типа:

– 1-й – с замедлением более служебного или менее аварийного либо равного последнему, что с высокой вероятностью может привести к созданию очагов столкновений с ударом сзади и попутных столкновений;

– 2-й – с замедлением менее служебного или равного ему, что не создаст очагов аварийности.

Блок ввода исходных данных включает:

- время реакции водителя лидирующего автомобиля – $t_{рБ}$, с;
- время запаздывания срабатывания тормозного привода для лидирующего автомобиля – $t_{2Б}$, с;
- скорость лидирующего автомобиля – v_B , м/с;
- аварийное замедление – j_A , м/с²;
- служебное замедление – j_C , м/с²;

- безопасная корректировка по расстоянию – B , м;
- динамический коэффициент приведения ТП – $K_{дн}$;
- продолжительность переходного интервала – $t_{пр}$.

Форма для ввода исходных данных представлена на рисунке 3.

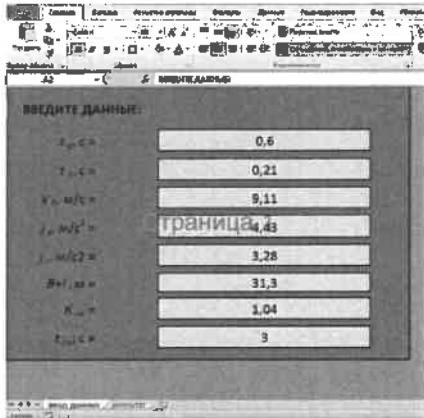


Рисунок 3 – Окно ввода исходных данных

Блок вывода результата в наглядной для пользователя форме демонстрирует наименование соотношения между искомыми расстояниями, формулу для определения зоны дилеммы и непосредственно ее протяженность. Для определения местоположения зоны дилеммы создан отдельный модуль компьютерной программы, действие которого основывается на использовании усовершенствованной модификации метода, базирующейся на использовании расстояний S_{min} , $S_{min c}$, S_{max} .

Результаты расчетов представляются в достаточно удобной для пользователя форме (рисунок 4), при помощи неравенства указывается местоположение зоны дилеммы и ее тип. Затем указывается протяженность зоны дилеммы и формула, в соответствии с которой она была определена.

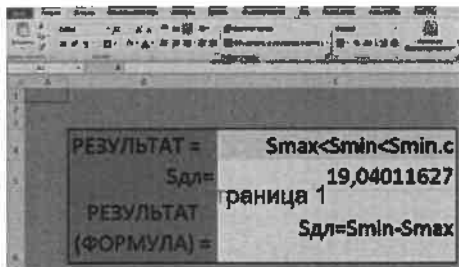


Рисунок 4 – Диалоговое окно, отображающее результаты расчетов

Использование модуля позволяет на основании ряда вводимых параметров, измеренных на конфликтном объекте, определить соотношение трех основных расстояний, которое и будет определять наличие или отсутствие зоны дилеммы и ее тип.

Модуль для определения потенциальной опасности в попутном потоке. Основываясь на формализации методики прогнозирования потенциальной опасности в попутном потоке, приведенной в работе [10] и внесенным в нее изменениями, разработан соответствующий модуль комплексного алгоритма, который включил в себя несколько связанных блоков: блок ввода параметров, расчетный и аналитический блоки, в которых происходит обработка и анализ введенной исходной информации, и демонстрационный блок, где выводится полученный результат (рисунок 5).



Рисунок 5 – Блок-схема модуля для определения потенциальной опасности в попутном потоке

Расчетный модуль включает следующие параметры: $K_{оп}$ – коэффициент начальной вероятности конфликта, характеризующий вероятность одновременного появления двух конфликтующих участников в конфликтной зоне. Под конфликтной зоной понимается пространство вокруг конфликтной точки, одновременное нахождение в котором конфликтующих участников приводит к КФС; K_v – коэффициент скоростей, характеризующий влияние скоростей движения конфликтующих участников на вероятность возникновения КФС и перерастания ее в ДТП; K_b – коэффициент вида конфликта, характеризующий габаритные особенности, присущие данному виду конфликта; K_p – коэффициент плотности, характеризующий влияние интенсивности движения и плотности на вероятность возникновения КФС и перерастания ее в ДТП; K_n – коэффициент нарушений, характеризующий вероятность возникновения КФС и перерастания ее в ДТП при грубых нарушениях конфликтующими участниками ПДД; K_y – коэффициент условий, характеризующий условия, в которых происходит конфликтное движение; K_t – коэффициент времени, характеризующий продолжительность работы перекрестка в данном режиме движения;

Одновременно с вводом необходимого набора исходных данных формируется база данных по всем вводимым позициям. В аналитическом блоке производится непосредственный расчет с использованием базовой методики прогнозирования с внесенными в нее изменениями. Одно-

временно формируется общая база данных с учетом всех расчетных параметров и итоговых результатов по всем вводимым позициям. В демонстрационном блоке производится наглядное представление полученного результата в удобной для пользователя форме.

Для удобства использования программы пользователем ее интерфейс представляет собой диалоговое окно с кнопками, нажатие которых вызывает окна ввода данных и просмотра полученных на их основе результатов (рисунок 6).

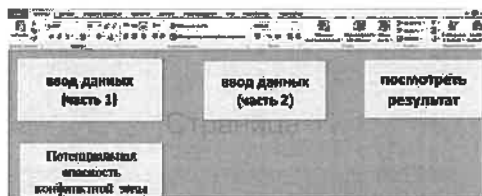


Рисунок 6 – Основное диалоговое окно программы

Ввод исходных данных для расчета потенциальной опасности в конфликтной зоне на полосе для удобства разделен на две части: первая включает по большей части измеряемые параметры объекта, а вторая – необходимый набор коэффициентов и параметры зоны дилеммы (рисунки 7, 8).

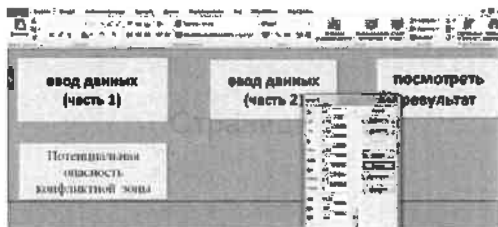


Рисунок 7 – Диалоговое окно ввода данных (первая часть)

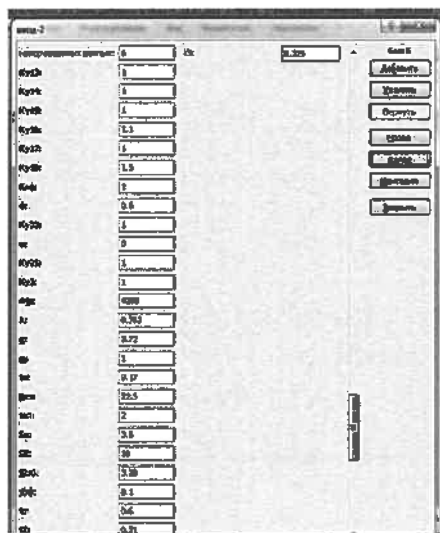


Рисунок 8 – Диалоговое окно ввода данных (вторая часть)

При рассмотрении потенциальной опасности конфликтной зоны на входе возникает необходимость во введении дополнительных данных для ее расчета на основе уже произведенных расчетов потенциальной опасности по каждой полосе движения, формирующих

эту зону. Основной набор исходных данных для расчета содержится в информационной базе программы, формируемой при вводе исходных данных по полосам движения. Здесь существует возможность для пользователя либо указать известную величину потенциальной опасности по полосе, либо сослаться на результаты ее расчета, уже включенные в базу данных, указав присвоенный данному объекту пользовательский номер (это не системный номер по порядку, а присвоенный пользователем при вводе данных для удобства последующей их идентификации) (рисунок 9).

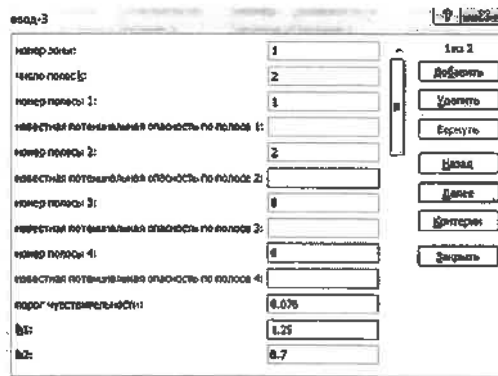


Рисунок 9 – Диалоговое окно ввода данных для расчета потенциальной опасности конфликтной зоны на входе

Окно вывода результатов, производимых модулем расчетов, представлено на рисунке 10.



Рисунок 10 – Диалоговое окно, отображающее результаты расчетов по исследуемому объекту и расчету потенциальной опасности конфликтной зоны

Результаты расчетов представляются в достаточно удобной для пользователя форме: нажимая на кнопку «посмотреть результат», пользователь попадает на конечную страницу программы, где при вводе присвоенного объекту номера выдается рассчитанный результат по показателю потенциальной опасности конфликтной зоны на полосе, а при вводе присвоенного зоне номера – рассчитанная потенциальная опасность конфликтной зоны на входе.

В заключение необходимо отметить, что использование вычислительно-аналитического алгоритма позволяет выполнить расчет на основании набора исходных параметров с выводом в качестве результата графической интерпретации модели взаимодействия автомобилей, на основании чего делается вывод о вероятности конфлик-

та между ними, присутствии зоны дилеммы и ее типа. Оценивается достаточность времени оповещения водителя о смене сигналов светофора и переходного интервала для «прорывающихся» автомобилей, вероятности выезда как лидирующего, так и ведомого автомобилей за стоп-линию и возможности возникновения как КФС между ними, так и столкновения с ударом сзади.

Список литературы

- 1 Лапский, С. Л. Разработка компьютерной модели прогнозирования столкновений с ударом сзади / С. Л. Лапский, Д. П. Ходоскин, Р. Ю. Лагереv // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2011. – № 2 (23). – С. 49–54.
- 2 Ходоскин, Д. П. Разработка методики для определения местоположения и борьбы с последствиями зоны дилеммы на примере регулируемого перекрестка г. Гомеля / Д. П. Ходоскин // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2011. – № 1 (22). – С. 39–44.
- 3 Ходоскин, Д. П. Совершенствование метода исследования столкновений с ударом сзади при подъезде к регулируемому перекрестку / Д. П. Ходоскин, Р. Ю. Лагереv // Молодежный вестник ИрГТУ [Электронный ресурс]. – 2011. – № 2. – С. 45–52. – Режим доступа : <http://mvestnik.istu.irk.ru/>. – Дата доступа : 30.01.2020.
- 4 Врубель, Ю. А. Организация дорожного движения В 2 ч. Ч. 1. / Ю. А. Врубель. – Минск : Белорус. фонд безопасности дорожного движения, 1996. – 328 с.
- 5 Amer, A. M. Statistical and behavioral modeling of driver behavior on signalized intersection approaches / A. M. Amer // Thesis submitted to the faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University. – Blacksburg, Virginia, 2010. – 151 p.
- 6 Burnett, N. P. Effect of information on driver's risk at the onset of yellow / N. P. Burnett ; University of Nebraska. – Lincoln, Nebraska, 2011. – 108 p.
- 7 Gazis, D. The problem of the yellow signal light in traffic flow / D. Gazis, R. Herman, A. Maradudin // Traffic Engineering Journal. – 1985. – P. 64–74.
- 8 Chang, G. L. Intelligent dilemma zone protection system at high-speed intersections / G. L. Chang, S. Y. Park // National Transportation Center at Maryland. – 2017. – 88 p.
- 9 Knodler, M. A. An evaluation of dilemma zone protection practices for signalized intersection control / M. A. Knodler, D. S. Hurwitz // University of Massachusetts, Transportation Center. – 2009. – 56 p.
- 10 Капский, Д. В. Совершенствование метода прогнозирования аварийности на регулируемых перекрестках для повышения безопасности движения : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 / Д. В. Капский. – Минск, 2003. – 132 с.

Получено 20.04.2020

D. V. Kapski, D. P. Khadoskin. Application of a computing analytical algorithm for modeling conflict interaction of cars in a latest transport flow.

The computational-analytical algorithm is based on the MsOffice software package. It includes three interconnected modules that allow you to simulate the process of conflict interaction between the leading and driven cars. Its formalization allows one to analytically determine the potential danger and location of the dilemma zone. The results of the computational and analytical work are presented in graphical form with the derivation of the corresponding dependencies and the final results, convenient for the user to perceive and further work with them.

УДК 656.13

Д. П. ХОДОСКИН, магистр технических наук, О. А. ХОДОСКИНА, кандидат экономических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ПРИМЕНЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА ДТП ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АВАРИЙНОСТИ В ПОПУТНОМ ТРАНСПОРТНОМ ПОТОКЕ

Более половины ДТП на дорогах Республики Беларусь приходится на происшествия в городских очагах аварийности. Основной их причиной являются существующие недостатки в организации дорожного движения, а также несовершенство применяемых методов прогнозирования аварийности, используемой при этом аналитической информации. Количественный анализ статистических данных с применением метода очагового анализа аварийности позволяет значительно повысить точность и информативность прогнозирования аварийности в попутном транспортном потоке.

Метод очагового анализа выбран на первом этапе исследований первичных и вторичных конфликтов в попутном потоке для определения соответствующих очагов и их видовой структуры. Данный метод является разновидностью топографического, который позволяет определить место ДТП, и заключается в привязке к объектам на карте или схеме исследуемой территории. Очаговый анализ заключается в нанесении как можно большего количества информации о ДТП на масштабную схему элементарного участка (в рассматриваемом исследовании речь идет о регулируемых перекрестках (РПК)) – в этом состоит отличие от топографического анализа [1, 2].

Целью очагового анализа аварийности является установление конкретных причин ДТП в очаге аварийности. Очагом аварийности называется место концентрации не менее трех ДТП в год. Они подразделяются на два типа: загородные и городские [3, 4]. Последние рассматриваются в данной статье. К городским очагам аварийности относят зоны конфликтных объектов: перекрестков, пешеходных переходов, в которых ДТП являются следствием конфликтного маневрирования. Отличительной особенностью этих очагов являются низкая скорость и большая интенсивность движения, что приводит к большому количеству ДТП на данных объектах (рисунок 1).

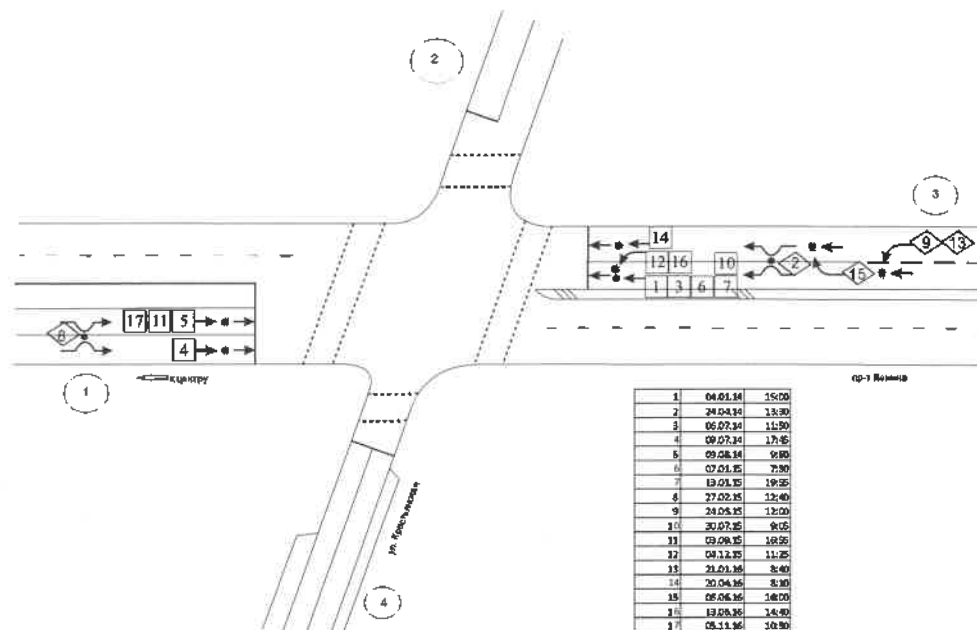


Рисунок 1 – Очаговый анализ аварийности в попутном потоке на регулируемом перекрестке пр-т Ленина – ул. Крестьянская, г. Гомель

Для нанесения на масштабный план очага аварийности дислокации ДТП применяется подробный механизм [1, 2]. Дальнейшие действия согласно методике анализа очаговой аварийности предусматривают [1, 3]:

- натурное обследование очага (бланков аудита);
- заключительное определение причин ДТП по результатам натурного обследования;
- поиск и предварительный выбор решений из специального перечня типовых решений с указанием пред-

варительной аварийной, экономической и экологической эффективности;

- оформление документации по очагу аварийности.

Таким образом, методика очагового анализа используется на начальной стадии исследования для выявления мест концентрации городских очагов аварийности с большим количеством ДТП в попутном потоке (например, столкновений с ударом сзади, в качестве первичного конфликта) и сопутствующих уклончивых действий

(например, попутных столкновений при перестроении слева, в качестве вторичного конфликта). В качестве примера рассмотрено использование указанного метода на регулируемом перекрестке в г. Гомеле пр-т Ленина – ул. Крестьянская (рисунок 1).

По результатам анализа статистики аварийности с применением указанного метода по г. Гомелю наблюдается устойчивый рост общего количества ДТП по исследуемой выборке перекрестков за период с 2014 по 2016 год в среднем на 4–6 % ежегодно: в 2014 – 587, 2015 – 611, 2016 г. – 648 ДТП. На ДТП в попутном транспортном потоке приходится около 70 % (в 2014 – 69,7, в 2015 – 68,7, в 2016 г. – 73,6 %), что предположительно связано с рядом причин, характеризующих особенности светофорного регулирования и его применения на перекрестках в целом. Причем основное влияние на повышение числа таких ДТП оказывают: недостаточная величина переходного интервала, неудовлетворительная видимость ТСР и помехи, создаваемые при этом МТС, движущимся по крайним полосам, что является причиной недостаточной продолжительности оповещения водителей о смене сигналов светофора.

На основной вид ДТП в попутном потоке – столкновения с ударом сзади перед стоп-линией – приходится от 46,6 % в 2015 г. до 49,7 % в 2016 г. При этом для ДТП в регулируемом режиме движения общий рост за исследуемый период составил более 8 %, а в нерегулируемом режиме наблюдается устойчивая тенденция к росту – от 23 в 2014 г. до 27 и 33 в 2015 и 2016 гг. соответственно, т. е. увеличение от 3,9 до 5,1 % или более 43 % за рассматриваемый период. Следует отметить, что общее число

ДТП по данному виду за исследуемый период возросло на 11 % к базовому 2014 г. (рисунок 2).

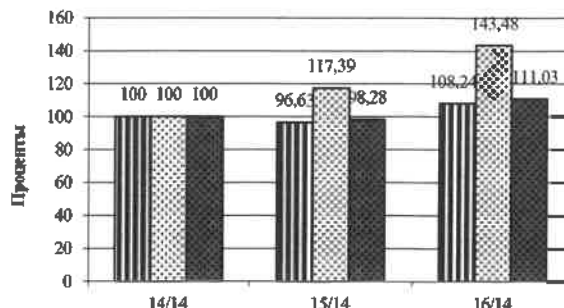
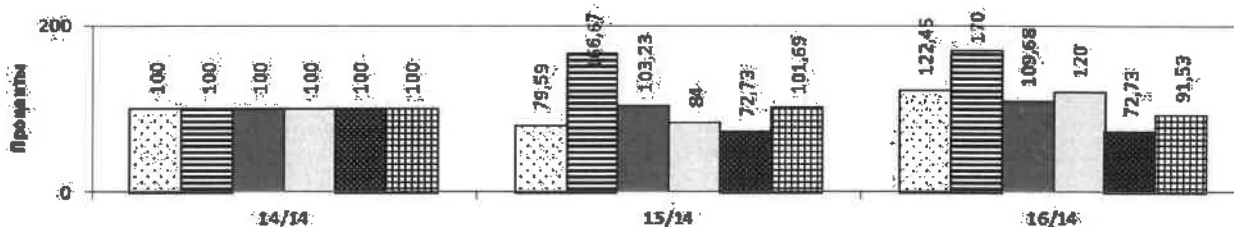


Рисунок 2 – Динамика столкновений с ударом сзади перед стоп-линией за 2014–2016 гг.

■ – в регулируемом режиме; ▨ – в нерегулируемом режиме; ■ – всего

Из остальных видов ДТП (рисунок 3), происходящих в попутном потоке, большая часть приходится на ДТП при перестроении с правой и левой полос. Так, на первый вид приходится от 6,4 (2015 г.) до 9,3 % (2016 г.) с темпом роста за период – более 122 % (и на регулируемый режим – от 6,1 в 2015 г. до 8,2 % в 2016 г., с темпом роста за период – 115,2 %, а на нерегулируемый – от 0,3 в 2015 г. до 1,1 % в 2016 г., с темпом роста за период – 233,3 %). Следует отметить, что на второй – от 5,1 (2014 г.) до 8,2 % (2015 г.) с темпом роста – 170 % (причем на регулируемый режим – от 4,4 в 2014 г. до 7,1 % в 2016 г., с темпом роста за период почти 177 %, а на нерегулируемый – от 0,7 в 2014 г. до 1,2 % в 2015 г., с темпом роста за период – 125 %).



- ▨ – перестроение с правой полосы и ДТП с транзитным автомобилем, не меняющим направление движения перед стоп-линией;
- ▨ – перестроение с левой полосы и ДТП с транзитным автомобилем, не меняющим направление движения перед стоп-линией;
- ▨ – проезд на запрещающий сигнал светофора – боковое столкновение (угол 90 градусов);
- ▨ – несоблюдение бокового интервала между ТС движущимися в попутном направлении при подъезде к стоп-линии;
- ▨ – боковое столкновение ТС при нерегулируемом режиме;
- ▨ – столкновение одноименных встречных транзитных и левоповоротных потоков (103 ст.).

Рисунок 3 – Динамика некоторых видов ДТП за 2014–2016 гг.

Значительная часть в структуре ДТП в попутном потоке относится на несоблюдение бокового интервала – от 3,4 % (2015 г.) до 4,6 % (2016 г.). Причем рост данного вида за период составил 20 %. На регулируемый режим приходится от 3,1 % в 2015 г. до 4,2 % в 2016 г., с темпом роста за период почти 113 %, а на нерегулируемый – от 0,2 % в 2014 г. до 0,5 % в 2016 г., с темпом роста за период 300 %.

Стоит обратить внимание также и на межфазные ДТП, которые являются следствием присутствия инертной зоны дилеммы, в 2014 г. было зарегистрировано 8 %, в 2015 г. – 9,2 %, а в 2016 г. – 8,6 % от общего количества.

Большая доля в них относится на проезд перекрест-

ка на красный сигнал (КС) – ежегодно это около 5,2 % ДТП, причем рост за период составил 9,7 % (в случаях, когда виновник ДТП двигался по главной дороге, имеет место от 3,8 % в 2014 г. до 4,4 % в 2015 г., с темпом роста за период 118,2 %, а на случай когда виновник ДТП двигался по второстепенной дороге – от 0,8 % в 2015 г. до 1,2 % в 2016 г., с темпом роста за период 88,89 %). На столкновения одноименных встречных транзитных и левоповоротных потоков приходится порядка 8–10 % ежегодно, причем снижение за период составило около 8,5 %.

Динамика по всем исследуемым видам ДТП приведена на рисунке 4 и в таблице 1.

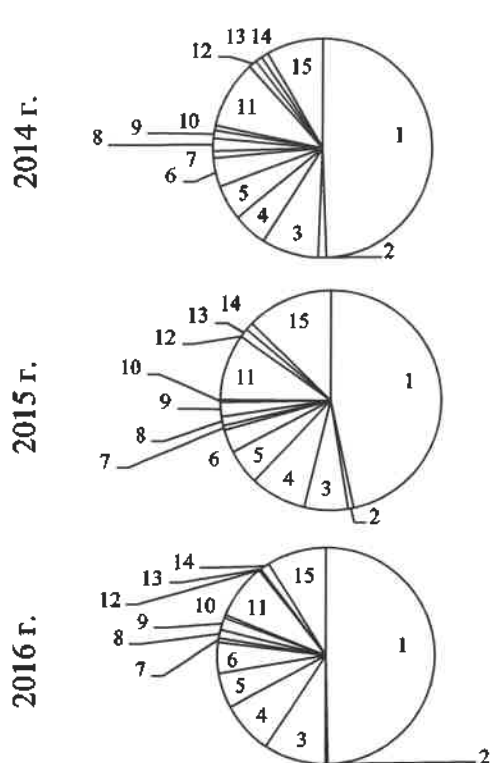


Рисунок 4 – Структура ДТП за 2014–2016 гг.

- 1 – столкновение с ударом сзади перед стоп-линией;
- 2 – уклончивые действия от столкновения с ударом сзади и наезд на бордюр, ограждение, светофорную опору;
- 3 – перестроение с правой полосы и ДТП с транзитным автомобилем, не меняющим направление движения перед стоп-линией;
- 4 – перестроение с левой полосы и ДТП с транзитным автомобилем, не меняющим направление движения перед стоп-линией;
- 5 – проезд на запрещающий сигнал светофора – боковое столкновение (угол 90 градусов);
- 6 – несоблюдение бокового интервала между ТС, движущимися в попутном направлении при подъезде к стоп-линии;
- 7 – столкновение с ударом сзади при совершении левого поворота;
- 8 – боковое столкновение ТС при нерегулируемом режиме;
- 9 – столкновение одноименных встречных левоповоротных и транзитных потоков (последний осуществлял движение на запрещающий сигнал светофора);
- 10 – столкновение разноименных встречных левоповоротных и транзитных потоков (последний не предоставил возможности завершить левый поворот);
- 11 – столкновение одноименных встречных транзитных и левоповоротных потоков (103 ст.);
- 12 – столкновение транзитного ТС и ТС, выполняющего разворот;
- 13 – наезд на пешехода (велосипедиста) с участием правоповоротного транспортного средства;
- 14 – наезд на пешехода с участием транзитного транспортного средства;
- 15 – другие виды ДТП.

Таблица 1 – Структура общего числа ДТП

В процентах

Вид ДТП	Доля ДТП		
	2014	2015	2016
1	49,4	46,64	49,69
2	1,19	0,82	0,31
3	8,35	6,38	9,26
4	5,11	8,18	7,87
5	5,28	5,24	5,25
6	4,26	3,44	4,63
7	1,02	0,65	0,62
8	1,87	1,31	1,23
9	1,19	2,13	1,85
10	0,68	0,33	0,46
11	10,05	9,82	8,33
12	1,19	0	0,15
13	1,02	1,31	0,15
14	1,02	1,15	1,39
15	8,37	12,6	8,81
Сумма	100	100	100

Необходимо отметить, что в рассматриваемом периоде наибольший объем в общем числе ДТП приходится на столкновения с ударом сзади перед стоп-линией. Однако в целом за период их доля осталась практически прежней на фоне роста общего числа ДТП (с 587 до 648), хотя их число возросло на 11 %, в то время как доля ДТП, связанных с перестроением с левой полосы и ДТП с транзитным автомобилем, не меняющим направление движения перед стоп-линией, заметно увеличилась (на 2,76 %).

Также отмечается заметное снижение доли ДТП, происходящих по причине столкновения с ударом сзади при совершении левого поворота (практически в 2 раза) и ДТП, происходящих по причинам столкновения транзитного ТС и ТС, выполняющего разворот, и наезда на пешехода (велосипедиста) с участием правоповоротного транспортного средства: их доли в 2016 году снизи-

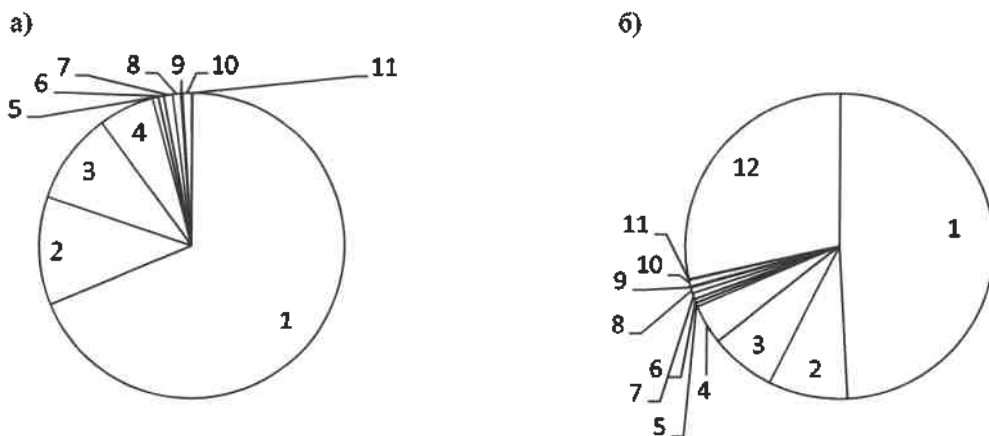
лись до 0,15 %, т. е. указанные виды ДТП практически отсутствуют.

По результатам изучения структуры аварийности в попутном потоке с помощью очагового анализа получены результаты, представленные на рисунке 5.

По результатам анализа первичных и вторичных конфликтов в попутном потоке видно, что наибольшее их количество относится к столкновениям с ударом сзади перед стоп-линией, которые составляют 68,7 % от общего числа столкновений в попутном потоке и 49,1 % от общего числа столкновений за период. По указанному виду ДТП наибольшее их число относится к конфликтам с материальным ущербом (более 90 % от всех конфликтов этого вида).

Также большая доля конфликтов приходится на попутные столкновения при перестроении справа, которые составляют 11,5 % от общего числа столкновений в попутном потоке и 8,2 % от общего числа столкновений за период. Во многих случаях это связано с плохой видимостью ТСР, когда водители не имеют достаточно времени для их определения и вынуждены экстренно перестраиваться в условиях острого дефицита времени.

Согласно результатам анализа (рисунок 6) распределение количества ДТП в регулируемом режиме в попутном потоке по месяцам года неравномерно: заметен рост ДТП, который наблюдается в осенний период (в октябре – 34 (2014 г.), 47 (2015 г.) и 47 (2016 г.) ДТП). Также наблюдается рост ДТП в зимний период (в январе – 48, 40 и 36 по годам исследуемого периода соответственно) и весеннее время (в марте и апреле), что связано с влиянием факторов погодных-климатических условий и уровнем интенсивности движения транспортных средств. Наименьшее число ДТП приходится на летние месяцы, что связано с отпускным сезоном и минимизацией интенсивности движения.



- 1 – столкновение с ударом сзади перед стоп-линией;
- 2 – попутное столкновение при перестроении справа;
- 3 – попутное столкновение при перестроении слева;
- 4 – столкновение при несоблюдении бокового интервала;
- 5 – падение пассажира в салоне МТС при резком его торможении перед стоп-линией;
- 6 – столкновение при одновременном перестроении;
- 7 – уклончивое действие от столкновения с ударом сзади и наезд на транспортное средство, находящееся слева на соседней полосе;
- 8 – уклончивое действие от столкновения с ударом сзади и наезд на транспортное средство, находящееся справа на соседней полосе;
- 9 – уклончивое действие от столкновения с ударом сзади и выезд на полосу встречного движения, приведший к лобовому столкновению;
- 10 – уклончивое действие от столкновения с ударом сзади и наезд на светофорную стойку и т. п., расположенные справа по ходу движения;
- 11 – уклончивое действие от столкновения с ударом сзади и наезд на ограждение, бордюр и т. п., расположенные слева на разделительной полосе;
- 12 – другие виды ДТП.

Рисунок 5 – Структура ДТП в попутном потоке (а) и общего количества ДТП (б) за период 2014–2016 гг.

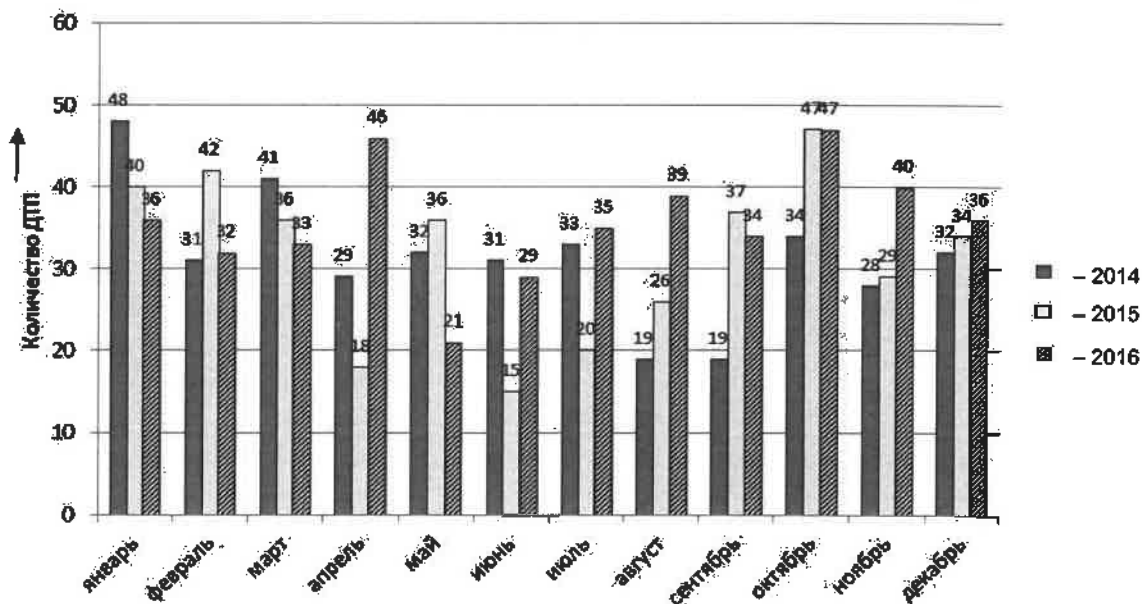


Рисунок 6 – Распределение ДТП в попутном потоке по месяцам за 2014–2016 гг.

По результатам анализа распределения ДТП в попутном потоке по времени суток (рисунок 7) видно, что распределение ДТП в попутном потоке в течение суток неравномерно, причем в рассматриваемом периоде общее число ДТП увеличивается в 2015 г. по сравнению с 2014 г. и в 2016 г. по сравнению с 2015 г. Такая тенденция соответствует общепринятой, обоснованной теоретически, когда присутствует явный всплеск в вечерний час пик (с 17 до 18 часов – максимальное количество ДТП, а именно 49, 46 и 59), и частые всплески

в утренний час пик и обеденное время. К основным причинам такой картины можно отнести следующие: фактор усталости, установление одинакового времени начала и окончания рабочего дня на основных крупных предприятиях и учреждениях и вследствие этого значительно увеличенный уровень интенсивности движения и др. В межпиковое и вечернее время уровень ДТП минимален, в основном за счет существенного снижения интенсивности движения транспорта и пешеходов.

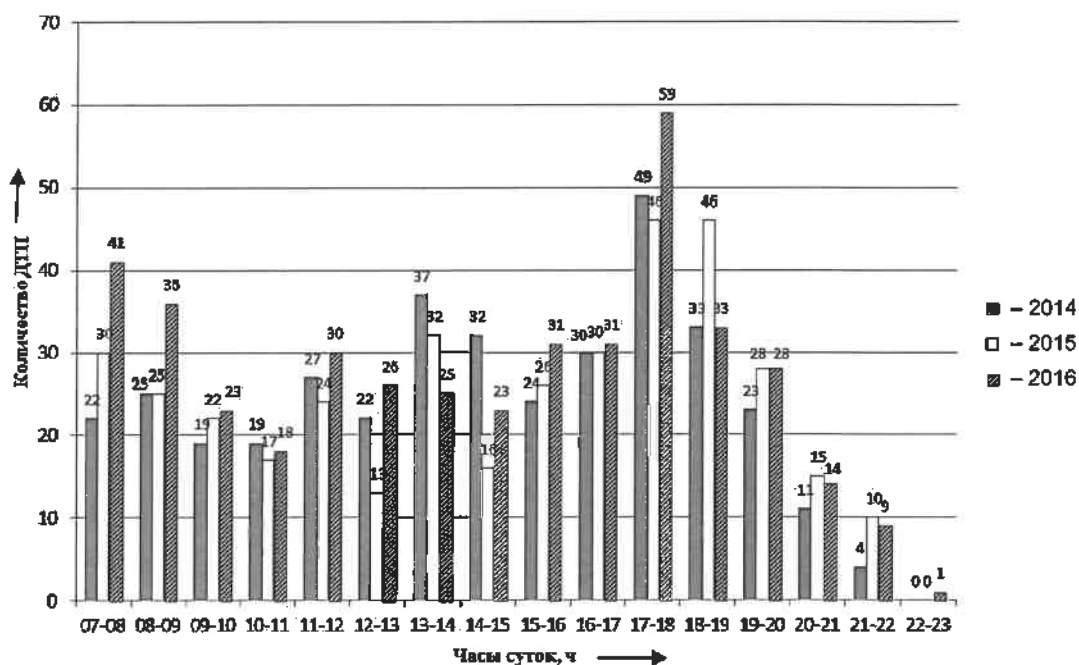


Рисунок 7 – Распределение ДТП в попутном потоке по времени суток за 2014–2016 гг.

Таким образом, по результатам очагового анализа имеется устойчивый рост общего количества ДТП за исследуемый период в среднем на 5 % ежегодно. Около 70 % ДТП приходится на ДТП в попутном потоке. Причем порядка 48 % приходится на столкновения с ударом сзади, на межфазные ДТП – около 9 % с ростом за период порядка 10 %. Определены первичные и вторичные конфликты в попутном потоке и их структура, которая показала, что за период с 2014 по 2016 г. 68,7% ДТП приходится на столкновения с ударом сзади перед стоп-линией (причем с ранеными – 0,17 %, а со смертельным исходом – 0,08 %), 11,5 и 9,7 % – на попутные столкновения при перестроении справа и слева соответственно, 5,9 % – на столкновения при несоблюдении бокового интервала.

Использование полученной структуры по ДТП в попутном транспортном потоке, в том числе и по тяжести происшествий, позволит повысить информативность

прогнозирования по конкретным видам конфликтов, а внесенные в методику прогнозирования изменения и дополнения, связанные с учетом параметров зоны дилеммы, – и точность прогнозирования ДТП в попутном потоке при подъезде к регулируемому перекрестку.

Список литературы

- 1 Аудит безопасности дорожного движения : [монография] / Д. В. Капский [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 428 с.
- 2 Врубель, Ю. А. Определение потерь в дорожном движении : [монография] / Ю. А. Врубель, Д. В. Капский, Е. Н. Кот. – Минск : БНТУ, 2006. – 240 с.
- 3 Капский, Д. В. Методология повышения безопасности дорожного движения в городских очагах аварийности : дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.10 / Д. В. Капский. – Минск, 2013. – 194 с.
- 4 Капский, Д. В. Методология повышения качества дорожного движения / Д. В. Капский. – Минск : БНТУ, 2018. – 372 с.

Получено 20.04.2020

D. P. Khadoskin, O. A. Khadoskina. Role of quantitative analysis of accidents in accident forecasting in a latest transport flow.

More than half of the accidents occurring on the roads of the Republic of Belarus occur in accidents occurring in the urban centers of accident. Their main reason is the existing shortcomings in the organization of traffic, as well as the imperfection of the applied methods for predicting the accident rate, the analytical information used in this case. Quantitative analysis of statistical data using the method of focal accident analysis can significantly improve the accuracy and information content of accident forecasting in the associated traffic flow.

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ

УДК 629.463.62

*А. В. ПИЩИК, ведущий инженер-механик подвижного состава, Минский филиал РУП «Белтаможсервис», г. Минск,
С. М. ВАСИЛЬЕВ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ВАГОНА-ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ КРУПНОТОННАЖНЫХ КОНТЕЙНЕРОВ МОДЕЛИ 13-9570

Проведены анализ и изучение актуальности перевозки грузов ускоренными контейнерными поездами. Рассмотрено усовершенствование конструкции вагона-платформы модели 13-9570, а также возможность включения данной платформы в ускоренные контейнерные поезда для следования в них со скоростью до 120 км/ч. Приводится результат проведенной работы по предложенному усовершенствованию вагона-платформы модели 13-9570.

Перевозка грузов контейнерными поездами давно заняла конкурентоспособную нишу в направлении Беларусь – Китай. Постоянно увеличивается количество компаний, которые осуществляют перевозку грузов контейнерными поездами. Одними из крупнейших являются государственное предприятие «БТЛЦ» Белорусской железной дороги, АО «ОТЛК ЕРА», ПАО «Трансконтейнер». Необходимо отметить, что в сфере контейнерных перевозок существуют вопросы, которые требуют решения.

Компании АО «ОТЛК ЕРА» и ПАО «Трансконтейнер» озадачены повышением маршрутной скорости движения контейнерных поездов, данные мероприятия не представляется возможным реализовать без участия железнодорожных администраций, через которые проходят маршруты следования ускоренных контейнерных поездов. Для увеличения скорости движения необходимо не только внести изменения в инфраструктуру железных дорог, но и располагать вагонами и локомотивами, которые будут способны обеспечить заданные скорости движения. Одним из возможных направлений в данной деятельности, должно стать совершенствование конструкции вагонов и вождение контейнерных поездов пассажирскими локомотивами с конструкционной скоростью 120 км/ч [1].

Следует отметить, что Белорусская железная дорога за 2019 год увеличила общий объем контейнерных перевозок на 15 %, стремительно увеличивается доля грузов, перевозимых в контейнерах по сети ОАО «Российские

железные дороги». Особое внимание собственники подвижного состава Российской Федерации, работающие в данном сегменте перевозок, уделяют увеличению скорости движения контейнерных поездов, которые задействованы для перевозки грузов из Республики Беларусь (город Брест) в Китайскую Народную Республику. Выполнение перевозок грузов в ускоренных контейнерных поездах позволит составить реальную конкуренцию различным транспортным коридорам на направлениях «Восток – Запад» и «Север – Юг», но для организации скоростного движения необходимо довести скорость транспортировки контейнеров по железной дороге до 2000 км в сутки без привязки к строительству новой инфраструктуры. Например, на данный момент время следования маршрутных контейнерных поездов по Белорусской железной дороге от станции Красное (государственная граница с Российской Федерацией) до Бреста составляет менее 12 часов, маршрутная скорость соответственно достигает 1400 км/сут, при условии минимальных стоянок на станциях [2].

На сегодня существует огромное множество моделей вагонов-платформ для перевозки крупнотоннажных контейнеров, но увеличение скорости до 120 км/ч в них не представляется возможным.

В данной статье представляем вариант возможного усовершенствования вагонов-платформ для перевозки крупнотоннажных контейнеров, на примере фитинговой платформы модели 13-9570 (рисунок 1).

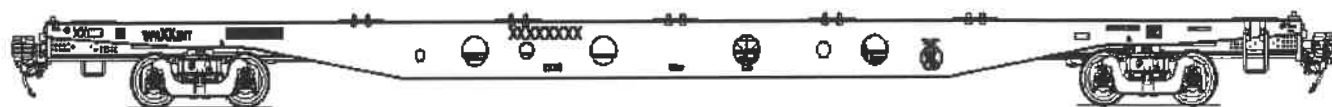


Рисунок 1 – Усовершенствованный вагон-платформа для перевозки крупнотоннажных контейнеров модели 13-9570

Вагон-платформа для перевозки крупнотоннажных контейнеров модели 13-9570 предназначен для перевозки крупнотоннажных контейнеров (до 80 футов) и контейнеров-цистерн, не требующих защиты от атмосферных осадков. География следования данных платформ проходит по всей сети железных дорог колеи 1520 мм государств СНГ, Грузии, Литовской Республики, Латвийской Республики, Эстонской Республики, а также по железным дорогам колеи 1520 мм Республики Польша, Румынии, Китайской Народной Республики.

Совершенствованию предлагается подвергнуть ходовые части, тормозное оборудование, а также установить пятник типа 9 (ГОСТ 34468–2018). Базовую тележку модели 18-9886 предлагается заменить на тележку модели 18-9999 (тип 3).

Данная тележка была испытана на конструкционную скорость до 120 км/ч, а также проводится работа, направленная на применение данной тележки для скорости движения 140–160 км/ч. В перспективных планах, рассмотрена возможность массового применения данной

тележки под крытыми вагонами повышенной грузоподъемности, а также длиннобазными платформами для перевозки контейнеров (80-фут).

Тележка модели 18-9999 предназначена для подкатки под грузовые вагоны с осевой нагрузкой 25,0 тс. Тележка изготавливается в климатическом исполнении УХЛ категории размещения 1 по ГОСТ 15150 с обеспечением эксплуатационной надежности. Конструкцией тележки предусмотрена взаимозаменяемость сменных (быстро изнашиваемых) элементов тележек в пределах одного типа. В зависимости от комплектации устанавливают исполнения тележек: 18-9999.00.00.000 – без опорной балки авторежима, 18-9999.00.00.000-01 – с опорной балкой авторежима. Особенностью этой тележки является штампованная конструкция с соединением боковых рам между собой посредством шарнирного сцепления, что позволило добиться значительного снижения износа гребней колес в кривых участках пути, а также обеспечить повышенную устойчивость движения при высоких скоростях [3].

Предпосылки для применения данной тележки как одного из методов по предотвращению сверхинтенсивного износа гребней колесных пар усматриваются. Необходимо отметить, что по неисправности «тонкий гребень» приходится примерно на 40 % отцепок вагонов в ТОР от общего количества, а в парке длиннобазных вагонов достигает порядка 70 %. Остро стоит вопрос по сохранению полезного ресурса колесных пар путем уменьшения восстановлений профиля поверхности катания по причине неисправности «тонкий гребень». Одной из возможных методик снижения интенсивного износа гребней колесных пар при восстановлении профиля поверхности катания (обточке) колесных пар, может стать вывод гребня на толщину не 33, а 30 мм. Идея представляется перспективной, способствующей снижению износа гребня, но она затруднительна в выполнении. Для успешной реализации вагоноремонтными предприятиями железнодорожных администраций необходимо данное предложение внести на рассмотрение профильного подразделения Совета по железнодорожному транспорту – участников Содружества, в части регламентирования данной методики, при проведении восстановления профиля поверхности катания и выводе гребня на размер 30 мм, особенно в длиннобазных вагонах. Необходимо отметить, что начиная с 70-х годов прошлого столетия, железнодорожный путь был перестроен на новую унифицированную ширину рельсовой колеи 1520 мм, то есть номинальная ширина рельсовой колеи, использовавшаяся ранее, была уменьшена на 4 мм. Существенно были уменьшены допуски на уширение колеи в кривых. Несмотря на это, колесные пары подвижного состава не изменили своих размеров и номинальный размер между внутренними гранями колес составляет 1440 ± 3 мм. Сужение рельсовой колеи при неизменных размерах колесной пары привело к значительному изменению процесса взаимодействия колес и рельсов. Уменьшилась величина расчетного зазора в рельсовой колее, точки опоры колес на рельсы сместились в сторону гребней колес, существенно затруднилось вписывание колесных пар в кривые участки пути, значительно возросли износы гребней колес и боковой износ рельсов. Анализ основных неисправностей вагонов-платформ модели 13-9570 представлен в виде диаграммы (рисунок 2), диа-

грамма распределения неисправностей колесных пар представлена в виде круговой диаграммы (рисунок 3). Анализ проводился по 100 вагонам с 01.01.2019 по 31.12.2019 г., при поступлении их в текущий отцепочный ремонт (далее – ТОР), указанные вагоны имели 115 отцепок в ТОР. Комплексный анализ проводился на сети следующих железных дорог: ГО «Белорусская железная дорога», АО «Национальная компания «Казахстан темир жолы», ОАО «Российские железные дороги».

Вышеуказанные изменения нарушили процесс формирования траектории движения колесных пар, а для длиннобазных экипажей с жесткой рамой, движение в кривых участках стало возможным в основном при опирании гребнями колес на рельсы. В связи с этим возросло число колесных пар, поступающих в ремонт с предельно изношенными гребнями, с уменьшением полезного ресурса и срока службы колесных пар примерно в два раза [4].

Важность решения данной проблемы весьма актуальна для железнодорожных администраций, которые располагают парком длиннобазных вагонов-платформ, а также собственников подвижного состава. Количество последних постоянно увеличивается. Каждая компания заинтересована, чтобы подвижной состав эксплуатировался продолжительное время, с минимальным количеством поступлений в текущий отцепочный ремонт до планового ремонта.

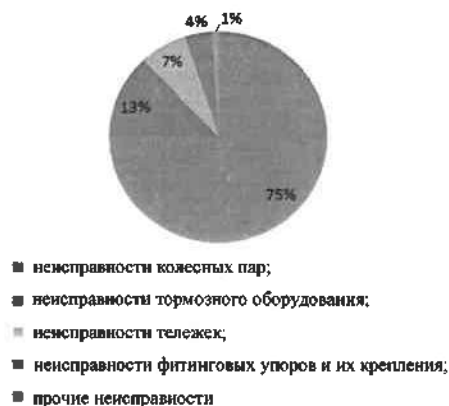


Рисунок 2 – Распределение неисправностей, по которым отцепляются в ТОР вагоны-платформы модели 13-9570

Поступление вагонов в ТОР также связывают с возможным долговременным простоем вагонов в ожидании ремонта, что абсолютно недопустимо для собственника вагона.

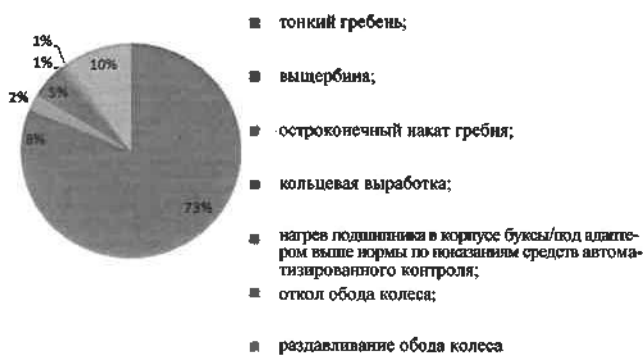


Рисунок 3 – Распределение неисправностей колесных пар вагонов-платформ модели 13-9570

Одним из важнейших условий увеличения скорости движения ускоренных контейнерных поездов является модернизация тормозного оборудования, от исправного действия которого напрямую зависит безопасность движения поездов и сохранность перевозимых грузов. Тормозное оборудование вагона-платформы для перевозки крупнотоннажных контейнеров модели 13-9570, можно усовершенствовать путем оснащения его системой ИСКРА.200 (интеллектуальная система координации работы автотормозов до 200 км/ч) производства ЗАО «МТЗ-Трансмаш».

Конструктивно ИСКРА.200 представлена следующими элементами:

- цифровыми датчиками температуры буксы;
- блоком тормозного оборудования (БТО);
- информационным дисплеем;
- противоюзной защитой;
- спутниковой навигацией.

Использование системы ИСКРА.200 в грузовом скоростном подвижном составе требует выполнения ряда условий:

– локомотив, который будет использоваться в ускоренном контейнерном поезде, может быть как пассажирским (но при этом ограничивается вес поезда в соответствии с мощностью локомотива), так и грузовым с конструкционной скоростью 160 км/ч, оснащенным ЭПТ. Дополнительно в локомотивах должно устанавливаться оборудование системы ИСКРА.200 – это контроллер крана машиниста и электронный блок управления;

– грузовые вагоны или платформы должны быть оборудованы ЭПТ, штатным для пассажирского вагона, в том числе рукавом соединительным 369А, блоком тормозного оборудования и соответствующими клеммными коробками типов 316 и 317.

Функции, выполняемые системой ИСКРА.200:

- возможность применения на существующем подвижном составе, оборудованном ЭПТ;
- сохранение полной функциональности ЭПТ;
- высокая точность управления давлением в тормозных цилиндрах пропорциональными клапанами;
- контролируемая продольная динамика по ускорению;
- количество грузовых вагонов (платформ) в составе может достигать 70 ед.;
- диагностика состояния тормозной системы в движении и на стоянке;
- вывод диагностической информации на монитор локомотива;
- возможность передачи диагностической информации в диспетчерские центры во время движения поезда;

Получено 15.04.2020

A. V. Pischik, S. M. Vasiliev. An improvement of the design of the container wagon for transportation of large-capacity containers model 13-9570.

The analysis and study of the relevance of cargo transportation by accelerated container trains was carried out. An improvement of the design of the wagon container model 13-9570 was examined. Furthermore, the possibility of including this wagon container in accelerated container trains for traveling at the speed up to 120 km/h was considered. The article showcases the result of the work carried out on the proposed improvement of the wagon container model 13-9570.

– скорости движения подвижного состава, оснащенного системой ИСКРА.200, до 200 км/ч;

– возможность наращивания функциональности системы путем расширения программного обеспечения.

Преимуществом использования данной системы называется возможность применения её на скорости до 160 км/ч. В ходе испытаний было отмечено, что данная система обладает высоким качеством управления тормозами поезда [5].

При подведении итогов работы по предложенному усовершенствованию вагонов-платформ модели 13-9570 следует отметить, что увеличение движения контейнерных поездов в направлении Европа – Китай – Европа, возможно только при эффективном взаимодействии всех заинтересованных железнодорожных администраций, а также операторов (собственников) фитинговых платформ.

Успешное решение этой сложнейшей задачи позволит обеспечить максимальное удовлетворение спроса грузоотправителей и грузополучателей, повышение востребованности перевозок грузов контейнерными поездами, а также эффективную работу операторов подвижного состава.

Список литературы

1 Транзитное ускорение: новые вагоны разгонят контейнерные поезда [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые дан. – М. : АО «Изд. дом «Гудок», 2019. – Режим доступа : <https://gudok.ru/content/freighttrans/1451549>. – Дата доступа : 12.04.2020.

2 Белорусская железная дорога за 2019 год увеличила общий объем контейнерных перевозок на 15 % [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые дан. – Минск : Белорусская железная дорога, 2020. – Режим доступа : https://www.rw.by/corporate/press_center/news_of_cargo_carriers/2020/01/beloruskaya-zheleznyaya-doroga-za-2019-god-uvlechila-obshchiy-obem-konteynerykh-perevozok-na-15. – Дата доступа : 12.04.2020.

3 Тележка двухосная грузовых вагонов модель 18-9999 [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые дан. – М. : Экспресс индустрия, 2019. – Режим доступа : <http://www.express-i.ru/>. – Дата доступа : 10.03.2020.

4 Зотов, Д. В. Формирование рациональных траекторий движения колес подвижного состава при сужении рельсовой колеи : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / Д. В. Зотов ; Моск. гос. ун-т путей сообщения. – М., 2007. – 24 с.

5 Чуев, С. Г. Тормозные системы для грузового скоростного движения с цифровым управлением [Электронный ресурс] / С. Г. Чуев. – М., 2018. – Режим доступа : <http://mtz-transmash.ru/files/presscentr/publikacii/2018/1122tormozsistem/2018MTZtormozsys.pdf>. – Дата доступа : 14.04.2020.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

УДК 006.015.8: 621.331

Ю. И. КУЛАЖЕНКО, доктор физико-математических наук, В. С. ЗАЙЧИК, кандидат технических наук; А. А. КЕБИКОВ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ БЕЗОПАСНОСТИ К СТЕРЖНЕВЫМ ПОЛИМЕРНЫМ ИЗОЛЯТОРАМ ДЛЯ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Приведен метод определения требований безопасности к железнодорожному электроснабжению и стержневым полимерным изоляторам для контактной сети электрифицированных железных дорог. Определен состав железнодорожного электроснабжения применительно к процедуре обязательного подтверждения соответствия железнодорожной продукции в Евразийском экономическом союзе. Установлены сертификационные показатели для стержневых полимерных изоляторов для контактной сети электрифицированных железных дорог.

Общие сведения. Железнодорожное электроснабжение – подсистема инфраструктуры железнодорожного транспорта, включающая в себя комплекс технических сооружений и устройств, обеспечивающих электроснабжение потребляющих электроэнергию подсистем инфраструктуры железнодорожного транспорта, а также электроснабжение тягового подвижного состава на электрифицированных железных дорогах. Инфраструктура железнодорожного транспорта в целом является объектом Технического регламента Евразийского экономического союза ТР ТС 003/2011 «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта» [1].

Требования безопасности к железнодорожному электроснабжению. Железнодорожное электроснабжение включает в себя: контактную сеть; системы, устройства и оборудование устройств электроснабжения на перегонах и станциях; трансформаторные подстанции; тяговые подстанции.

Составные части подсистемы инфраструктуры железнодорожного транспорта «железнодорожное электроснабжение» и ее элементов, а также формы их обязательного подтверждения соответствия согласно [1] представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Структура железнодорожного электроснабжения

Наименование составной части (элемента составной части) железнодорожного электроснабжения	Форма обязательного подтверждения соответствия
1 <i>Контактная сеть</i>	–
1.1 Железобетонные стойки для опор контактной сети электрифицированных железных дорог	Сертификация
1.2 Изоляторы для контактной сети электрифицированных железных дорог	Сертификация
1.3 Провода контактные из меди и ее сплавов для железнодорожной контактной сети	Сертификация
1.4 Разъединители железнодорожной контактной сети	Декларирование
1.5 Ригели жестких поперечин устройств подвески контактной сети электрифицированных железных дорог	Сертификация
1.6 Фундаменты железобетонных опор контактной сети электрифицированных железных дорог	Сертификация
1.7 Диодные заземлители устройств контактной сети электрифицированных железных дорог	Декларирование
2 <i>Системы, устройства и оборудование устройств электроснабжения на перегонах и станциях</i>	–
2.1 Аппаратура телемеханики устройств электроснабжения	Сертификация
2.2 Вентильные разрядники и ограничители перенапряжений для устройств электроснабжения железных дорог	Сертификация
2.3 Статические преобразователи для устройств электроснабжения электрифицированных железных дорог	Декларирование
3 <i>Трансформаторные подстанции</i>	–
4 <i>Тяговые подстанции</i>	–
4.1 Разъединители для тяговых подстанций систем электроснабжения электрифицированных железных дорог	Декларирование
4.2 Реакторы для тяговых подстанций систем электроснабжения электрифицированных железных дорог	Декларирование
4.3 Устройства защиты тяговых подстанций, станций стыкования электрифицированных железных дорог	Сертификация

К железнодорожному электроснабжению, его составным частям и элементам составных частей в [1] установлены следующие требования:

– обеспечение безопасного расстояния от элементов составных частей железнодорожного электроснабжения, находящихся под напряжением, до заземленных частей, поверхности земли, настилов пешеходных мостов, лестниц, пассажирских платформ и железнодорожных поездов;

– напряжение не должно превышать допустимое значение при прикосновении к корпусам электрооборудования и другим металлическим конструкциям;

– наличие ограждений и блокировок, препятствующих несанкционированному проникновению в опасные зоны или прикосновению к элементам составных частей железнодорожного электроснабжения, находящимся под напряжением;

– наличие автоматического отключения тяговой сети или линий электропередачи при возникновении таких режимов, которые могут привести к повреждению или нарушению исправного состояния железнодорожного электроснабжения и иных подсистем инфраструктуры железнодорожного транспорта;

– обеспечение механической прочности оборудования железнодорожного электроснабжения при воздействии эксплуатационных нагрузок, нагрузок в расчетных аварийных режимах, монтажных нагрузок;

– обеспечение пожарной безопасности как в нормальном, так и в аварийном режимах;

– наличие предупреждающих знаков;

– обеспечение безопасного расстояния от элементов составных частей железнодорожного электроснабжения до линий электропередачи, не входящих в состав инфраструктуры железнодорожного транспорта;

– уровень радиопомех, создаваемых элементами составных частей железнодорожного электроснабжения, не должен превышать допустимое значение;

– использование оборудования, параметры которого обеспечивают необходимый уровень защиты от опасного и вредного воздействия электромагнитных полей; автоматическое отключение элементов составных частей железнодорожного электроснабжения в аварийном режиме работы, исключающее возгорание частей;

– использование оборудования, параметры которого обеспечивают соблюдение в пределах допустимых значений следующих показателей: электрическая прочность изоляции; превышение температуры токоведущих частей оборудования над температурой окружающей среды при номинальном токе; отношение наименьшего и наибольшего размеров изоляционного промежутка, при котором отсутствует сигнал об отключенном положении разъединителя контактной сети; коэффициент безопасности по прочности стоек для опор контактной сети, их фундаментов и ригелей жестких поперечин; относительный прогиб в средней части несущих конструкций контактной сети; обратное напряжение диодного заземлителя; импульсное напряжение срабатывания устройств защиты станций стыкования; электромагнитное излучение;

– обеспечение безопасности оперативного и оперативно-ремонтного персонала от возможного попадания под напряжение и поражения электрическим током;

– безопасное функционирование при одновременном воздействии эксплуатационных или аварийных нагрузок и климатических факторов, соответствующих нормативным показателям района эксплуатации, в том числе для режимов минимальной или максимальной температуры, максимальной скорости ветра или гололеда с ветром;

– обеспечение снабжения тягового подвижного состава, сооружений и устройств подсистем инфраструктуры железнодорожного транспорта электроэнергией с показателями качества, обеспечивающими их безопасное функционирование и повышение энергетической эффективности.

Требования безопасности к стержневым полимерным изоляторам для контактной сети электрифицированных железных дорог. Стержневые изоляторы контактной сети электрифицированных железных дорог – устройства для изоляции проводов, находящихся под напряжением. По материалу изготовления различают изоляторы стеклянные, фарфоровые и полимерные. Полимерные изоляторы более легкие, прочные и надежные, чем фарфоровые и стеклянные. Для определения требований [1] к стержневым полимерным изоляторам для контактной сети электрифицированных железных дорог используется ГОСТ 30284–2017 [2]. Выполненный анализ [1] и [2] позволил установить требования безопасности и показатели для обязательного подтверждения соответствия в форме сертификации для стержневых полимерных изоляторов (таблица 2). Как видно из таблицы 2, соответствие требованиям [1] может быть обеспечено как непосредственным выполнением этих требований (п. 11, 12, 16 ст. 4 [1]), так и соблюдением требований стандартов, которые включены в перечень стандартов, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований [1].

Таблица 2 – Требования безопасности и показатели для подтверждения соответствия стержневым полимерным изоляторам для контактной сети электрифицированных железных дорог

Обозначение документа, определяющего показатель	Наименование показателя	Значение показателя
<i>Требование безопасности 1.</i> Использование оборудования, параметры которого обеспечивают соблюдение в пределах допустимых значений основных показателей.		
<i>Требование безопасности 2.</i> Обеспечение механической прочности оборудования железнодорожного электроснабжения при воздействии эксплуатационных нагрузок, нагрузок в расчетных аварийных режимах, монтажных нагрузок.		
ГОСТ 30284, пункт 5.1.1	Разрушающая механическая сила при растяжении	Не менее 70 кН
	Разрушающий изгибающий момент	Не менее 3,5 кН·м
ГОСТ 30284, пункт 5.1.5	Термомеханическая прочность	Изоляторы должны обладать термомеханической прочностью в диапазоне изменения температуры от минус 60 °С до плюс 70 °С
ГОСТ 30284, пункт 5.1.6	Одноминутное напряжение промышленной частоты под дождем	Не менее 20 кВ
ГОСТ 30284, пункт 5.1.7	Стойкость к проникновению влаги	Изоляторы с изоляционной частью из полимерного материала должны быть стойкими к проникновению влаги
ГОСТ 30284, пункт 5.1.8	Стойкость к воздействию импульсов напряжения с крутым фронтом	Изоляторы с изоляционной частью из полимерного материала должны быть стойкими к воздействию импульсов напряжения с крутым фронтом не менее 1000 кВ/мкс
ГОСТ 30284, пункт 5.1.11	Стойкость к воздействию электрической дуги	Изоляторы переменного тока должны быть стойкими к воздействию электрической дуги переменного тока (5±0,5) кА в течение (0,2±0,02) с. Изоляторы постоянного тока должны быть стойкими к воздействию электрической дуги постоянного тока (9±1) кА в течение (40±10) мс

Окончание таблицы 2

Обозначение документа, определяющего показатель	Наименование показателя	Значение показателя
<i>Требование безопасности 3: продукция должна иметь идентификационные и предупреждающие надписи и маркировку</i>		
ТР ТС 003/2011, ст. 4, п. 11	Продукция должна иметь хорошо различимые идентификационные и предупреждающие надписи и маркировку, которые должны быть повторены и пояснены в руководстве по эксплуатации	Наличие маркировки с нанесением следующей информации: условного обозначения изолятора; месяца и года изготовления; товарного знака предприятия-изготовителя; единого знака обращения продукции на рынке государств – членов Евразийского экономического союза. Маркировку наносят на изоляционную часть. Способ нанесения маркировки должен обеспечивать ее сохранность в течение срока службы изолятора
<i>Требование безопасности 4: продукция должна иметь маркировку, обеспечивающую идентификацию независимо от года выпуска</i>		
ТР ТС 003/2011, ст. 4, п. 12	Продукция должна иметь маркировку, обеспечивающую идентификацию продукции независимо от года ее выпуска, в том числе: единый знак обращения продукции на рынке государств – членов Евразийского экономического союза; наименование изготовителя или его товарный знак, наименование продукции; дата изготовления	
<i>Требование безопасности 5: порядок утилизации</i>		
ТР ТС 003/2011, ст. 4, п. 16	Для продукции должен быть предусмотрен порядок утилизации опасных элементов составных частей подсистем с целью предотвращения их использования после прекращения их эксплуатации	Наличие документально оформленного порядка утилизации

Подобным образом устанавливаются требования безопасности для всех элементов составных частей железнодорожного электроснабжения.

Список литературы

1 О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта. Технический регламент (ТР ТС 003/2011) : утв.

решением Комиссии Таможенного союза от 15 июля 2011 г. № 710 : с изм. и доп. – М., 2011. – 67 с.

2 ГОСТ 30284–2017. Изоляторы для контактной сети железных дорог. Общие технические условия. – Минск : Евразийский совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2017. – 19 с.

Получено 23.03.2020

Yu. I. Kulazhenko, V. S. Zaichyk, A. A. Kebikov. Requirements determination method for rod polymer insulators for the contact network of electrified railways.

Method for determining safety requirements is provided for railway power supply and rod polymer insulators for the contact network of electrified railways are specified. The structure of railway power supply in relation to the procedure for obligatory confirmation of conformity of railway products in the Eurasian economic union has been determined. Certification parameters for rod polymer insulators for the contact network of electrified railways have been established.

УДК 656.224: 629.44

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

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ АПОСТЕРИОРНЫХ МОДЕЛЕЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕВОЗОЧНЫМ ПРОЦЕССОМ

Рассмотрены подходы к решению эксплуатационных задач в условиях неопределенности. Предложено при решении задач оперативного управления перевозочным процессом использовать апостериорные модели. В составе апостериорных моделей должны решаться задачи идентификации, прогнозирования и поиска эффективных решений. Приведена общая постановка задачи идентификации на основе модели стохастического программирования. Разработана графическая интерпретация функции поведения объекта управления в ИСУПП. При прогнозировании поведения объектов управления предложено использовать одноэтапные и многоэтапные задачи фильтрации и прогноза. Для поиска эффективных решений обосновано использование модели стохастического управления.

Классические подходы к управлению перевозочным процессом на железнодорожном транспорте предполагают разработку планов работы и последующее их выполнение. Однако на практике реализовать данные планы не всегда возможно: существенно изменилась эксплуатационная обстановка, возник дефицит перевозочных ресурсов, изменилась структура и мощность транспортного потока и др. Основной причиной таких несоответствий является наличие *алеаторной* и *эпистемологической неопределенностей* как в исходной информации, так и в параметрах окружающей среды [1].

Интеллектуальная система управления перевозочным процессом (ИСУПП) обеспечивает снижение неопределенностей и предполагает новый подход к решению эксплуатационных задач, информационная структура которых известна заранее. Процесс разработки управляющего решения (УР) разделяется на два этапа.

Предварительный (нормативный) – строится закон управления, определяются решающие правила или решающие распределения с реализованными значениями и заданными статистическими характеристиками случайных параметров условий задачи. На данном этапе используется преимущественно априорная информация, а решение подобного класса эксплуатационных задач будет описываться *априорными моделями*. Примерами таких задач является разработка плана формирования поездов (ПФП), разработка нормативного графика движения поездов (НГДП).

Оперативный – на основе анализа функционирования системы производится выбор соответствующих решающих правил оперативного управления. Задачи подобного класса будем называть *апостериорными*. Например, на основе ПФП разрабатывается детализированный план состава образования, а на основе НГДП – прогнозный ГДП.

В данной статье объектом исследований являются апостериорные модели управления перевозочным процессом, оперирующие информацией, которая становится известной после наступления событий – «после опыта».

Необходимость использования апостериорных моделей определяется следующими причинами:

– сформированные в априорных моделях УР не могут быть реализованы, так как изменились условия функционирования;

– априорные модели не позволили получить УР с необходимым уровнем детализации;

– при разработке априорных планов использовалась информация со значительной величиной погрешности, в связи с чем разработанные УР требуют уточнений.

Преимущественной областью использования апостериорных моделей следует считать процессы оперативного управления. Их целью является обеспечение соответствия поведения ОУ его плановым параметрам.

В апостериорных моделях помимо задачи снижения *алеаторной* неопределенности важное место занимает проблематика снижения и компенсации *эпистемологической* неопределенности. Для этих целей необходимо особое внимание уделять совершенствованию технологий сбора и обработки информации.

Значительное количество эксплуатационных задач предполагает не только поиск одного эффективного УР, но и постоянное формирование УР в зависимости от складывающейся эксплуатационной обстановки и получаемой апостериорной информации. Например:

– для ведения поезда по нитке графика необходимо выбирать рациональную позицию контролера локомотива, а при отклонении от графика – изменять станции обгона и скрещения поездов;

– при роспуске вагонов с сортировочной горки необходимо управлять тормозными усилиями замедлителей в зависимости от большого количества видов априорной (масса отцепа, величина отцепа, путь назначения вагона и др.) и апостериорной (направление и сила ветра, сопротивление качению колесных пар вагонов отцепа, скорость впереди идущего отцепа и др.) информации.

В таких случаях целесообразно говорить не об УР, а об управляемом процессе. При этом задача управления разбивается на 3 подзадачи (рисунок 1):

- 1) идентификация состояния объекта;
- 2) прогнозирование поведения объекта управления в зависимости от внешних и внутренних факторов;
- 3) поиск эффективных УР для каждого момента поведения объекта в зависимости от его прогнозируемого состояния.



Рисунок 1 – Структура формирования УР в апостериорной модели

Рассмотрим обобщенную математическую постановку решения данных задач.

Идентификация.

Целью идентификации состояния объекта (системы) является определение состояния и актуальных характеристик объекта, типа УР и отнесение их к соответствующему классу (например, при задержке поезда в пути следования в зависимости от величины задержки и ее причины необходимо выбрать УР: попытаться реализовать «нагон» или остановить поезд на промежуточной станции и обеспечить своевременный пропуск остальных поездов). При такой постановке задачи параметры управления $u(t)$ будут зависеть как от эксплуатационной обстановки, так и от локальной цели функционирования системы.

Изменение состояния объекта управления можно описать уравнением [2]

$$x(t+1) = Ax(t) + \omega(t). \quad (1)$$

Матрица A размера $n \times n$ определяет характеристики объекта, подлежащие определению; $x(t)$ – наблюдаемый со случайной погрешностью вектор координат состояния объекта; $\omega(t)$ – случайные возмущения. В ИСУПП характеристики объекта могут задаваться как количественно, так и в виде лингвистических конструкций («плохой бегун», «хорошая видимость» и др.).

Введем дополнительную детерминированную переменную $x_0 \geq 0$. Общая постановка задачи идентификации представляет собой модель стохастического программирования с жесткими ограничениями. Требуется вычислить матрицу A и скаляр x_0 , при которых

$$x_0 \rightarrow \min, \quad (2)$$

$$-x_0 I(t) \leq x(t+1) - Ax(t) - \omega(t) \leq x_0 I(t), \quad t = 0, 1, \dots, s-1, \quad (3)$$

$$x_0 \geq 0, \quad (4)$$

где $I(t)$ – заданный n -мерный вектор с положительными составляющими.

Условия (3) должны выполняться при всех реализациях наблюдений $x(t)$ и случайных возмущений $\omega(t)$.

Менее жесткая постановка задачи идентификации объекта может быть представлена в виде следующей задачи стохастического программирования с вероятностными ограничениями.

Требуется вычислить матрицу A и скаляр α , при которых

$$\alpha \rightarrow \max, \quad (5)$$

$$P\{-x_0 I(t) \leq x(t+1) - Ax(t) - \omega(t) \leq x_0 I(t)\} \geq \alpha, \quad (6)$$

$$t = 0, 1, \dots, s-1, \quad (6)$$

$$0 \leq \alpha \leq 1. \quad (7)$$

Величина $x_0 \geq 0$ задана.

Возможно рассмотрение задачи, в которой скаляр α , $0 \leq \alpha \leq 1$, предполагается заданным, а выбору подлежат скаляр $x_0 \geq 0$ и матрица A :

$$x_0 \rightarrow \min, \quad (8)$$

$$P\{-x_0 I(t) \leq x(t+1) - Ax(t) - \omega(t) \leq x_0 I(t)\} \geq \alpha, \quad (9)$$

$$t = 0, 1, \dots, s-1,$$

$$x_0 \geq 0.$$

Модель станет более адаптивной, если заменить величину α на функцию $\alpha(t)$, $0 \leq \alpha(t) \leq 1$. Можно также заменить скаляры $\alpha(t)$ на векторы $\alpha(t) = \{\alpha_i(t)\}$; $0 \leq \alpha_i(t) \leq 1, i = 1, \dots, n$. Оператор P в таких случаях применяется построчно.

При формировании апостериорных моделей ИСУПП, как правило, заранее известен ожидаемый диапазон изменения параметров объекта управления на определенные УР $z_i(t)$. Такие ограничения имеют вид

$$z_{1i}(t+1) \leq Az_i(t) \leq z_{2i}(t+1), \quad i = 1, \dots, r; \quad t = 0, 1, \dots, s-1, \quad (10)$$

где $z_{1i}(t+1)$ и $z_{2i}(t+1)$ – известные функции.

Ограничения вида (10) могут быть учтены в задаче идентификации вида (2)–(4). Менее жесткая форма ограничений (10) имеет вид вероятностных условий

$$P\{z_{1i}(t+1) \leq Az_i(t) \leq z_{2i}(t+1)\} \geq \alpha_i(t), \quad (11)$$

$$i = 1, \dots, r; \quad t = 0, 1, \dots, s-1,$$

где $\alpha_i(t)$, $0 \leq \alpha_i(t) \leq 1$ – скаляры или векторы в зависимости от постановки задачи. Ограничения (11) могут быть учтены в задачах идентификации вида (5)–(7) или (8)–(10).

Отдельные эксплуатационные задачи предполагают использование стохастических матриц характеристик объекта. В этом случае дополнительные ограничения на выбор элементов матрицы определяются условиями

$$\sum_{j=1}^n \alpha_{ij} = 1, \quad i = 1, \dots, n; \quad 0 \leq \alpha_{ij} \leq 1, \quad i, j = 1, \dots, n. \quad (12)$$

Приведенные модели идентификации эффективно использовать в рамках решения задач линейного или квадратичного стохастического программирования с жесткими или вероятностными ограничениями. Для задач оперативного управления перевозочным процессом идентификацию предлагается интегрировать непосредственно в процедуру формирования УР. Выделение в отдельную задачу, как правило, упрощает расчеты и организацию управления, но может привести к снижению качества УР.

Прогнозирование поведения объекта управления.

Пусть управляемый процесс зависит от поведения некоторой случайной функции $\eta(t)$. Ошибка слежения за процессом приводит к тому, что вместо случайной функции $\eta(t)$ наблюдается случайный процесс $\xi(t)$

(рисунок 2). При решении эксплуатационных задач выбор УР основан на результатах прогноза поведения исходного процесса $\eta(t)$ в некоторые фиксированные моменты времени t_1, \dots, t_n [3].



Рисунок 2 – Функция поведения объекта управления в ИСУПП

Упредительные времена – горизонты прогноза t_1, \dots, t_n – задаются заранее. Эти времена могут определяться как строго установленные интервалы, либо соответствовать наступлению определенных типов событий (например, поступлению сообщений об операциях с вагонами или поездами). Оценки экстраполированных значений исходного процесса $\eta(t)$ – случайных величин $\eta(t_1 + t_n), \dots, \eta(t_n + t_n)$ – получают по результатам наблюдения случайной функции $\xi(t)$ на участках времени $t_i - T_i \leq t \leq t_i, i = 1, \dots, n$. T_i – наблюдательное время, отвечающее моменту t_i . Интервалы $(T_i - t_i, t_i)$ при различных i , в общем случае могут пересекаться. Для упрощения записи будем считать, что $T_i = T_j = T$.

Можно рассмотреть две постановки задачи сглаживания и прогноза: одноэтапную и многоэтапную. В одноэтапной постановке по известным статистическим характеристикам процессов $\eta(t)$ и $\xi(t)$ определяются априорные или апостериорные решающие правила, необходимые для управления наборы $\zeta = \{\zeta_i\}, i = 1, \dots, n$, сглаженных или упрежденных точек – оценок $\eta(t_i + t_n)$.

Для вычисления ζ_i необходимо задать:

а) класс управляющих решений, из которых выбираются структуры механизма связи ζ_i со значениями $\xi(t)$ на $(t_i - T, t_i)$;

б) показатель качества прогноза $R(\zeta)$;

в) область Q определения ζ – набор ограничений, определяющих множество допустимых значений.

Все решения о прогнозах, отвечающих моментам t_1, \dots, t_n , принимаются одновременно. Одноэтапная задача фильтрации и прогноза описывается одноэтапной моделью стохастического прогнозирования. Априорные решающие правила поиска УР определяют структуру зависимости ζ от значений $\xi(t)$ на $\bigcup_i (t_i - T, t_i)$, полностью обусловленную статистическими характеристиками случайных процессов $\eta(t)$ и $\xi(t)$. Апостериорные решающие правила определяют операторы сглаживания и упреждения, зависящие, кроме того, и от реализованной траектории случайного процесса $\xi(t)$ на $\bigcup_i (t_i - T, t_i)$.

В многоэтапной модели фильтрации и прогноза на i -м этапе, исходя из предварительно накопленной информации и принятых решений, сглаживается или экстраполируется процесс $\eta(t)$ при $t = t_i$. При этом учитывается, что критерий качества и ограничения задачи связывают между собой все оценки $\zeta_i, i = 1, \dots, n$. Многоэтапная модель фильтрации и прогнозирования может быть представлена в виде многоэтапной задачи стохастического программирования с жесткими или условными статистическими или условными вероятностными ограничениями.

В зависимости от содержательных особенностей эксплуатационной задачи многоэтапная модель, как и одноэтапная, решается в априорных или апостериорных решающих правилах или решающих распределениях.

Рассмотрим общую дискретную модель одноэтапно-го сглаживания и прогноза [2]. Разобьем наблюдательное время T на s интервалов и будем считать, что наблюдение процесса $\xi(t)$ проводится в соответствующие дискретные моменты времени $t_i - (s-1)\Delta$, $t_i - (s-2)\Delta, \dots, t_i - \Delta$, t_i , $i = 1, \dots, n$. Пусть для каждого i задан оператор Φ_i , $i = 1, \dots, n$, позволяющий по значениям $\xi(t_i - j\Delta)$ $j = 0, 1, \dots, s-1$ и по неизвестному подлежащему определению набору весовых коэффициентов p_{ij} , $j = 0, 1, \dots, s-1$ вычислить оценку ζ_i прогноза в соответствующей точке

$$\zeta_i = \Phi_i(\xi(t_i - j\Delta), p_{ij}) \quad j = 1, \dots, n. \quad (13)$$

Ошибка прогноза в момент t_i

$$\delta_i = \delta(t_i) = \eta(t_i + t_n) - \zeta(t_i) = \eta_i - \zeta_i. \quad (14)$$

Помимо *регулируемых ошибок* прогноза δ_i , определяемых принятой оценкой ζ_i , в практических задачах необходимо учитывать *нерегулируемые ошибки* – погрешности прогноза, не зависящие от выбираемых параметров p_{ij} (увеличение продолжительности стоянки пассажирского поезда для посадки-высадки пассажиров; изменение направления и силы ветра при скатывании отцепа с сортировочной горки и др.)

Первые и вторые (корреляционные) моменты регулируемых ошибок прогноза определяются формулами

$$m_i = M\delta_i = \overline{\delta_i} = \overline{\eta_i} - \overline{\zeta_i}; \quad m = \{m_i\}, \quad i = 1, \dots, n. \quad (15)$$

$$k_{ij} = M(\delta_i - m_i)(\delta_j - m_j); \quad \|k_{ij}\| = \{k_{ij}\}, \quad i, j = 1, \dots, n. \quad (16)$$

Предполагается, что первые моменты $\overline{\eta}(t_i)$ и $\overline{\xi}(t_i)$ и корреляционные матрицы $k_{\eta\eta}(t_i, t_j)$, $k_{\xi\xi}(t_i, t_j)$ и $k_{\xi\eta}(t_i, t_j)$ известны и заданы.

В нелинейных моделях прогноза для вычисления моментов оценки прогноза недостаточно знания математического ожидания и корреляционной функции случайного прогресса $\xi(t)$. В общем случае требуется информация о дополнительных статистических характеристиках, а иногда и о системе функций распределения значений $\xi(t)$.

В качестве целевого функционала прогноза выбирается функция от первых и вторых моментов ошибок прогноза $R(\|k_{ij}\|, m)$. При заданных статистических характеристиках случайных процессов $\xi(t)$ и $\eta(t)$ значения k_{ij} и m_i однозначно определяются вектором оценок $\zeta = \{\zeta_i\}$ упрежденных точек. Последние, в свою очередь, обусловлены значениями параметров $p = \{p_{ij}\}$. Поэтому

$$R(\|k_{ij}\|, m) = \tilde{R}(\zeta) = \hat{R}(p). \quad (17)$$

Область Q определения задачи фильтрации и прогноза задается системой ограничений – равенств, неравенств или логических соотношений – на моменты ошибок прогноза или на вероятности попадания точек ζ_i в заранее заданные детерминированные или случай-

ные множества или, наконец, на допустимый диапазон изменения параметров p_{ij} . Факторы, определяющие выбор ограничений, связаны, главным образом, с установлением рационального соотношения между регулируемыми и нерегулируемыми ошибками прогноза и с выполнением технических условий, обеспечивающих реализацию решения задачи фильтром или программой заданной сложности. Область Q определения ζ_i индуцирует область Q_p определения p . Задача фильтрации и прогноза сводится, таким образом, к задаче стохастического программирования

$$\max_{\zeta \in Q} R(\|k_{ij}\|, m) = \max_{\zeta \in Q} \tilde{R}(\zeta) = \max_{p \in Q_p} \hat{R}(p). \quad (18)$$

Классическая задача сглаживания и экстраполяции по минимуму дисперсии формулируется для случая $n = 1$. Целевой функционал R задачи – второй момент $k = k_{ij}$ ошибок прогноза (с обратным знаком). Область допустимых планов определяется требованием несмещенности оценки $m = m_i = 0$. Механизм сглаживания и прогноза предполагается линейным и определяется (в дискретном случае) набором весовых коэффициентов p_{ij} . Фильтрация по минимуму дисперсии целесообразна при отсутствии нерегулируемых ошибок.

Задача формируется следующим образом:

Требуется вычислить вектор $p = \{p_{ij}\}$, для которого

$$\begin{aligned} -R(k, m) = k(p) = M\{\eta(t_0 + t_n) - \\ - \sum_{j=0}^{s-1} \xi(t_0 - j\Delta)p_j\}^2 \rightarrow \min \end{aligned} \quad (19)$$

при условии

$$M\{\eta(t_0 + t_n) - \sum_{j=0}^{s-1} \xi(t_0 - j\Delta)p_j\}^2 = 0. \quad (20)$$

Предполагается, что статистические характеристики $\overline{\eta}$, $\overline{\xi}$, $k_{\eta\eta}$, $k_{\xi\xi}$, $k_{\xi\eta}$ случайных процессов $\xi(t)$ и $\eta(t)$ заданы.

Задача сводится к минимизации квадратичного функционала

$$\begin{aligned} \sum_{j=0}^{s-1} k_{\xi\xi}(t_0 - j\Delta, t_0 - j\Delta)p_j^2 + 2 \sum_{j<r=1}^{s-1} k_{\xi\xi}(t_0 - j\Delta, t_0 - \\ - r\Delta)p_j p_r - 2 \sum_{j=0}^{s-1} k_{\xi\eta}(t_0 + t_n, t_0 - j\Delta)p_j \end{aligned} \quad (21)$$

на гиперплоскости

$$\sum_{j=0}^{s-1} \xi(t_0 - j\Delta)p_j = \overline{\eta}(t_0 + t_n). \quad (22)$$

Задача может быть модифицирована и обобщена в различных направлениях. Жесткое ограничение – несмещенность оценки (равенство нулю систематической ошибки) в большинстве случаев можно заменить диапазоном допустимых отклонений относительно прогнозного значения δ . Область Q определения задачи при этом задается неравенством

$$\beta_1 \leq \bar{\eta}(t_0 + t_n) - \sum_{j=0}^{s-1} \bar{\xi}(t_0 - j\Delta)p_j \leq \beta_2, \quad (23)$$

где β_1, β_2 – заданные константы.

Таким образом, детерминированный эквивалент стохастической задачи сглаживания и прогноза может быть сведен к простейшей задаче квадратичного программирования.

Для ряда эксплуатационных задач допускается вместо детерминированного значения устанавливать область допустимых значений, которая зависит от управляемого процесса $\xi(t)$, в которые должна попасть упрежденная точка с вероятностью, не меньшей заданной (например, при роспуске составов с горки отцеп может остановиться не в конкретной точке пути, а допускается соударение с находящейся на путях группой вагонов со скоростью не выше 5 км/ч).

Тогда дополнительное ограничение будет иметь вид

$$P\left\{\sum_{j=0}^{s-1} \xi(t_0 - j\Delta)p_j \in G(\xi)\right\} \geq \alpha, \quad (24)$$

где $0 \leq \alpha \leq 1$ – заданная константа, а $G(\xi)$ – область заданной структуры, определяемая траекторией процесса $\xi(t)$ на интервале $(t_0 - T, t_0)$.

Поиск эффективных УР.

Типичная дискретная задача детерминированного оптимального управления имеет вид [4]

$$x^T(s)D_s x(s) \rightarrow \min, \quad (25)$$

$$x(t+1) = Ax(t) + Bu(t), \quad t = 0, 1, \dots, s-1, \quad (26)$$

$$|u(t)| \leq 1, \quad t = 0, 1, \dots, s-1. \quad (27)$$

Здесь $x(t)$ – n -мерный вектор параметров состояния в момент t , $x(0)$ задан, $u(t)$ – m -мерный вектор управления; D_s – симметричная положительно определенная матрица размера $n \times n$; A и B матрицы соответственно размера $n \times n$ и $n \times m$ – характеристики управляемого объекта и управляющего устройства.

В практических задачах сфера приложения детерминированных методов управления ограничена. Обычно объект управления подвергается помимо управляющего воздействия случайному возмущению $\omega(t)$. Кроме того, компоненты вектора $x(t)$ состояния системы измеряются со случайной ошибкой. В цепь обратной связи подаются, таким образом, не значения компонента $x(t)$, а составляющие вектора $z(t)$, отличающегося от $x(t)$ на случайный вектор $v(t)$. При интеллектуальном управлении перевозочным процессом могут формулироваться эксплуатационные задачи, в которых структура связи между объектами управления меняется случайным образом.

Классическая стохастическая модель управления имеет вид [4]

$$M\left\{x^T(s)D_s x(s) + \frac{1}{2} \sum_{t=1}^s [x^T(t)K_0 x(t) + \right. \quad (28)$$

$$\left. + u^T(t-1)K_\omega u(t-1)]\right\} \rightarrow \min,$$

$$x(t+1) + v(t+1) = A[x(t) + v(t)] + B[u(t) + \omega(t)]. \quad (29)$$

Здесь $v(t)$ и $\omega(t)$ – белые гауссовы случайные последовательности с нулевыми математическими ожиданиями и корреляционными матрицами K_0 и K_ω соответственно.

Доказано (см., например, [4]), что приведенную задачу оптимального стохастического управления можно разделить на две: задачу сглаживания и прогноза по минимуму дисперсии ошибок и задачу оптимального детерминированного управления. При более сложном критерии качества управления и при дополнительных ограничениях на переменные состояния и управляющие параметры такое разделение не всегда удается и, его, по-видимому, не всегда целесообразно производить. В таких случаях необходимо с самого начала формулировать задачу управления в условиях неполной информации, как задачу детерминированного управления сглаженными и экстраполированными в соответствии с теми или иными принципами процессами.

Общая задача стохастического управления является задачей стохастического программирования. Закон управления представляет собой решающие правила и решающие распределения. Класс допустимых структур решающих правил или решающих распределений задается заранее, исходя из специфики задачи.

Естественное обобщение задачи (28), (29) допускает случайные матрицы D_s , A и B . Целевой функционал может зависеть не только от конечного состояния системы (от состояния, в котором окажется система при $t = s$), но и от всей траектории, определяемой поведением системы в течение всего процесса ее функционирования. Построение закона управления незначительно усложняется, если заменить в критерии качества (28) стохастического управления

$$x^T(s)D_s x(s) \text{ на } \sum_{t=1}^s x^T(t)D_t x(t).$$

Помимо условий равенств, определяющих механизм функционирования системы, могут быть заданы статистические, вероятностные или жесткие ограничения на компоненты векторов $x(t)$ и составляющие векторов управления $u(t)$. Ограничения на $x(t)$ исключают нежелательные состояния и траектории системы (см. рисунок 2). Ограничения на $u(t)$ учитывают наличие временных, путевых, перевозочных и других ресурсов и технические возможности управления.

Обобщенная модель стохастического управления представляет собой модель стохастического программирования, в которой требуется минимизировать средний риск или максимизировать среднюю полезность – математическое ожидание некоторой случайной функции от параметров состояния и, возможно, от параметров управления. Эта группа условий определяет механизм функционирования системы. Такие ограничения задаются обычно в жесткой форме. Учитывая, однако, случайные возмущения, возникающие на входе системы, и погрешности наблюдения состояний системы, может оказаться целесообразной замена жестких ограничений, описывающих механизм функционирования устройства, вероятностными. Вторая и третья группы условий фиксируют допустимые области определения переменных состояний и, соответственно, параметров управления в различные моменты времени. В зависимости от содержательных особенностей задачи эти ограничения могут быть статистическими, вероятностными или жесткими.

Выводы.

Использование апостериорных моделей в ИСУПП обеспечивает разработку детализированных УР, направленных на повышение эффективности функционирования системы, снижение эксплуатационных рисков, разработку более адекватных алгоритмов управления. Кроме того, в процессе функционирования апостериорных моделей могут быть выявлены последовательности событий, не принадлежащей исходному множеству сценариев априорных моделей.

При описании системы, характеристики, поведение и влияние окружающей среды которой детерминированы, предшествующий опыт позволяет сформировать детальную априорную модель. При дополнении результатами функционирования апостериорных моделей база

знаний ИСУПП становится более полной и достоверной.

Список литературы

1 Еремеев, А. П. Построение решающих функций на базе тернарной логики в системах принятия решений в условиях неопределенности / А. П. Еремеев // Известия академии наук. Теория и системы управления. – 1997. – № 5. – С. 138–143.

2 Юдин, Д. Б. Математические методы управления в условиях неполной информации / Д. Б. Юдин. – М. : Сов. радио. – 1974. – 400 с.

3 Ерофеев, А. А. Интеллектуальное управление перевозочным процессом: от оперативного к плановому / А. А. Ерофеев // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 4. – С. 74–77.

4 Брайсон, А. Прикладная теория оптимального управления / А. Брайсон, Хо-Ю-Ши. – М. : Мир, 1972. – 544 с.

Получено 20.05.2020

A. A. Erofeev. Principles of constructions posterior models intellectual transportation process management.

Considers approaches to solving operational problems in the face of uncertainty. It is proposed to use posterior models when solving problems of operational control of the transportation process. As part of a posteriori models, problems of identification, forecasting and the search for effective solutions should be solved. The general statement of the identification problem based on the stochastic programming model is given. The graphic interpretation of the behavior function of the control object in the ISUPP is developed. When forecasting the behavior of control objects, it is proposed to use one-stage and multi-stage filtering and forecasting tasks. To search for effective solutions, the use of a stochastic control model is justified.

УДК 656.025.2

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

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВВЕДЕНИЯ СКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ НА БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

Для анализа эффективности повышения скорости движения необходимо рассмотреть структуру критерия эффективности реконструкции линии для скоростного движения пассажирских поездов. В расчет эффективности реконструкции входят суммы инвестиций или капитальных вложений, необходимых для реализации проектного решения; годовые текущие затраты, возникающие в процессе реализации проекта и затем его реализации; приведены строительно-эксплуатационные расходы; доходы или прибыль, полученные от внедрения проекта.

Технико-экономическое обоснование целесообразности технического совершенствования железнодорожной инфраструктуры, требующего инвестиционных вложений, основывается на системе показателей, которые можно объединить в две группы: натуральные и стоимостные показатели.

Натуральные показатели характеризуют технические или технологические достоинства и преимущества проектного решения. Это могут быть технические параметры проекта: руководящий уклон, длина приемо-отправочных путей, весовая норма, класс железнодорожного пути и т. д. или параметры, имеющие важное эксплуатационное значение: скорость, расход электроэнергии, расходы по содержанию постоянных устройств и другое. Определяющее значение для выбора проекта, в который будут вкладываться инвестиции, при всех прочих равных условиях имеют стоимостные показатели.

К стоимостным показателям, обычно рассматриваемым при экономическом обосновании капитальных вложений, относятся: суммы инвестиций или капитальных вложений, требуемых для реализации проектного решения; годовые текущие издержки, возникающие в процессе внедрения проекта и затем его реализации; приведенные строительно-эксплуатационные расходы; доходы или прибыль, получаемые от внедрения проекта.

В состав суммы капитальных вложений или единовременных затрат входят инвестиции в их денежном эквиваленте. Текущие издержки или эксплуатационные расходы включают все виды затрат, связанных с эксплуатацией вновь вводимых или реконструируемых инвестиционных объектов. В отличие от капитальных вложений, текущие затраты рассчитываются обычно за годовой период эксплуатации.

Основной задачей, стоящей перед Белорусской железной дорогой, при введении скоростного движения пассажирских поездов на существующих линиях, является определение общей экономической эффективности и срока окупаемости введения нового подвижного состава «Stadler». Для решения этой задачи необходимо:

– рассмотреть структуру критерия эффективности реконструкции линии для скоростного движения пассажирских поездов;

– определить общую эффективность использования нового подвижного состава.

Рассматриваемая задача – внедрение скоростного движения – относится к государственному уровню и

поэтому устанавливается общественная эффективность инвестиций. При этом в качестве основной части *результата* от увеличения скоростей движения пассажирских поездов может быть принята дополнительная плата пассажиров за сокращение времени поездки, млн руб./год,

$$C_{\text{пас-ч}} = 365 n_{\text{пас}} m \alpha_{\text{зап}} \Delta T e_{\text{пас-ч}} 10^{-6}, \quad (1)$$

где $n_{\text{пас}}$ – количество скоростных пассажирских поездов в сутки; m – вместимость поезда, чел.; $\alpha_{\text{зап}}$ – коэффициент использования вместимости поезда в долях единицы; $e_{\text{пас-ч}}$ – стоимость пассажиро-часа, руб.; ΔT – сокращение времени нахождения пассажиров в пути (в оба направления), ч.

При сравнении вариантов проектных решений, например, по выбору вида подвижного состава для скоростных поездов можно использовать стоимость времени нахождения пассажиров в пути как затратную часть критерия.

В состав затрат входят капиталовложения в реконструкцию дороги ($K_{\text{рек}}$) и на приобретение подвижного состава ($K_{\text{пс}}$):

$$Z_i = K_{\text{рек}} + K_{\text{пс}}. \quad (2)$$

Кроме того, в связи с использованием нового подвижного состава в пассажирском движении и модернизацией технического состояния дороги после реконструкции изменятся эксплуатационные расходы как в пассажирском, так и грузовом движении. В частности, реализация более высоких скоростей требует больших затрат энергоресурсов, а улучшение плана трассы позволит уменьшить расходы на содержание пути в кривых. Уменьшение времени оборота подвижного состава влияет на потребность в локомотивных бригадах. Также следует учитывать дополнительные эксплуатационные издержки, связанные с дополнительным простоем поездов из-за увеличения съема грузовых поездов скоростными пассажирскими. Поэтому в состав показателя критерия эффективности внедрения скоростного движения необходимо включить разность эксплуатационных расходов, вызванную переустройством и заменой подвижного состава ($\pm \Delta C_i$).

Замена подвижного состава предопределяет высвобождение используемых пассажирских вагонов и локомотивов. Поэтому необходимо учитывать его возвратную стоимость ($K_{\text{пс(возв)}}$).

Так как проект социальный и имеет большое значение для народного хозяйства, то могут иметь место единовременные дотации государства (Д).

Таким образом, с учетом изложенного, составляющие результата, полученного за счет эксплуатации объекта, определяются по формуле

$$R_t = C_{\text{пас-ч}} + Д + K_{\text{пс(возв)}} \pm \Delta C_t. \quad (3)$$

Применительно к реконструкции железной дороги с целью внедрения скоростного движения пассажирских поездов чистый дисконтированный доход (ЧДД) определяется по формуле

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T (C_{\text{пас-ч}} + Д + K_{\text{пс(возв)}} \pm \Delta C_t - K_{\text{рек}} - K_{\text{ис}}) \frac{1}{(1+E)^t}. \quad (4)$$

В формуле (4) $C_{\text{пас-ч}}$, Д и $K_{\text{пс(возв)}}$ соответственно стоимость нахождения пассажира в пути, дотации государства и возвратная стоимость существующего подвижного состава при замене на новый улучшенный. Сумма этих трех составляющих и будет являться доходной частью ЧДД. Стоимость нахождения пассажира в пути определяется по формуле (2). Расчет стоимости времени нахождения пассажиров в пути с учетом использования подвижного состава «Stadler» на участке Красное – Минск – Брест (603, 1 км) согласно тяговым расчетам составляет $T' = 370,24$ мин (направление «туда») и в обратном направлении $T'' = 381,03$ мин.

При этом, уменьшая время нахождения в пути за счет увеличения скорости, можно взимать дополнительную плату за сокращение времени поездки, увеличив стоимость пассажиро-часа $e_{\text{пас-ч}}$. Например, существующую стоимость пассажиро-часа будем увеличивать соответственно в 1,5 и 2 раза ($e_{\text{пас-ч}}^{\text{сущ}} = 6,6$ бел. руб.).

Стоимость от продажи существующего подвижного состава, который применяется на участке, составит примерно 40 млн белорусских рублей (согласно данным компании «Stadler», выпускающей свои подвижные составы на территории Беларуси).

Дотации государства в данном случае будут незначительные, около 2 млн белорусских рублей.

Эксплуатационные расходы являются затратной частью ЧДД. К ним относятся расходы, зависящие от работы подвижного состава, расходы, не зависящие от работы подвижного состава, а также расходы на содержание постоянных устройств. С учетом единичных ставок и норм Республики Беларусь для участка Красное – Минск – Брест эксплуатационные расходы ΔC_t составят 62,25 млн белорусских рублей на 1 поезд в сутки. Затраты на реконструкцию практически отсутствуют, так как закупается новый улучшенный подвижной состав с увеличенной скоростью прохождения кривых.

Стоимость закупки подвижного состава может быть различной. Применительно к «Stadler» стоимость закупки 10 единиц составляет примерно 200 млн белорусских рублей.

Согласно приведенным выше расценкам производится расчет ЧДД при различной стоимости пассажиро-часа. Общий показатель ЧДД приводится на рисунке 1.

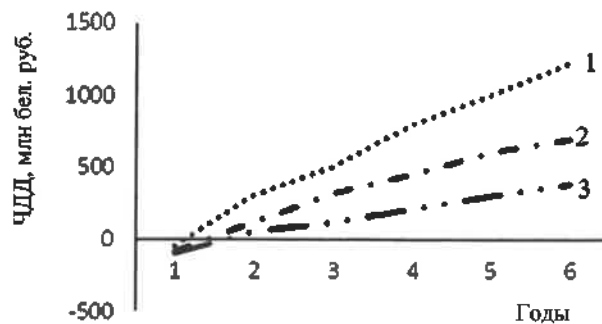


Рисунок 1 – Общий показатель ЧДД при различной стоимости пассажиро-часа:
1 – при стоимости пас-ч, увеличенной в 2 раза; 2 – при стоимости пас-ч, увеличенной в 1,5 раза; 3 – при существующей стоимости пас-ч (6,6 бел. руб.)

Сроки окупаемости при различной стоимости пассажиро-часа в зависимости от размера движения представлены в таблице 1 и на рисунке 2.

Таблица 1 – Сроки окупаемости при различной стоимости пассажиро-часа

Срок окупаемости ($T_{\text{ок}}$), годы	Стоимость пассажиро-часа, бел. руб.
1,5	6,6
1,0	9,9
0,5	13,2

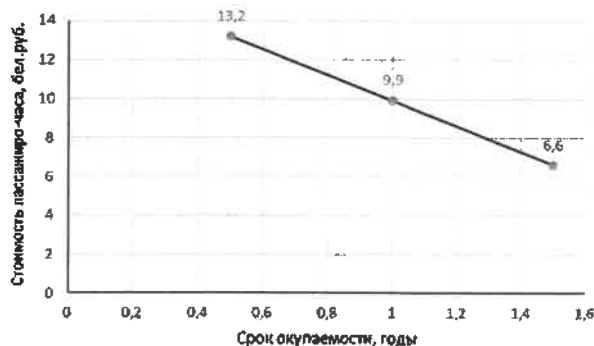


Рисунок 2 – Срок окупаемости введения скоростного движения при различной стоимости пас-ч

Из рисунков 1 и 2 видно, что при существующей стоимости пассажиро-часа ЧДД станет положительным через 1,5 года и проект будет считаться выгодным. При увеличении стоимости пассажиро-часа в 1,5 раза проект окупится через полгода. При увеличении стоимости в 2 раза, проект начнет окупаться практически сразу. Так как проект социальный, сокращение времени хода на 10 минут на участке в 603,1 км при существующей стоимости пассажиро-часа, а следовательно, и при существующей стоимости билетов будет самым оптимальным вариантом. При этом срок окупаемости в 1,5 года меньше нормативного.

Список литературы

- 1 Экономические изыскания и основы проектирования железных дорог / Б. А. Волков [и др.]; под общ. ред. Б. А. Волкова. – М. : Маршрут, 2005. – 408 с.
- 2 Копыленко, В. А. Техничко-экономическая модель задачи оптимального переустройства эксплуатируемой линии для

повышения скорости поездов / В. А. Копыленко // Сб. науч. тр. МИИТа. – 1986. – Вып. 771. – С. 50–66.

3 Курган, Н. Б. Экономическая эффективность от устранения ограничений скорости движения поездов, обусловленных просрочкой ремонтов / Н. Б. Курган, В. С. Маркова // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта им. акад. В. Лазаряна. – 2007. – Вып. 19. – Д. : ДНУЖТ. – С. 84–87.

4 Курган, Д. Н. Методология расчетов железнодорожной колеи при взаимодействии со скоростным подвижным составом : автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.06 / Д. Н. Курган. – УкрДУЗТ. – Днепропетровск, 2017. – 35 с.

5 Босов, А. А. Повышение эффективности работы транспортной системы на основе структурного анализа : [монография] / А. А. Босов, Н. А. Мухина, Б. П. Пих. – Днепропетровск, 2005. – 200 с.

6 Экономика железнодорожного транспорта : учеб. для студентов вузов / под ред. Б. М. Липидуса, Н. П. Терешинной, М. Ф. Трихункова. – М. : УМК МПС России, 2001. – 600 с.

7 Инструкция по определению экономической эффективности капитальных вложений на железнодорожном транспорте. – М. : Транспорт, 1973. – С. 71–74.

8 Текущее содержание железнодорожного пути. Технические требования и организация работ. Стандарт организации : СТП 09150.56.010–2005. – Введ. 01.07.2006. – Минск, 2006. – 284 с.

9 Corinne Blanquart. The local economic impacts of high-speed Railways: Theories and facts / Corinne Blanquart, Martin Koning // European Transport Research Review (ETRR). – 2017. – 9 (2). – 14 p.

10 Givoni, M. Development and Impact of the Modern High-speed Train: A Review / M. Givoni // Transport Reviews. – Vol. 26, is. 5. – 2006. – P. 593–611.

Получено 13.12.2019

P. V. Kovtun, T. A. Dubrovskaya, A. S. Bratikova. Analysis of efficiency of introducing speed movement on the Belarusian railway.

To analyze the effectiveness of the introduction of high-speed traffic on existing railway lines, it is necessary to consider the structure of the criterion for the effectiveness of the reconstruction of the line for high-speed movement of passenger trains. The calculation of the reconstruction efficiency includes the amount of investment or capital investment necessary for the implementation of the design solution; annual current costs arising in the process of project implementation and then its implementation; construction and maintenance costs are given; income or profit received from the implementation of the project.

УДК 67.02

А. А. ЖУКОВА, кандидат технических наук, А. Ф. ЗАЙКО, кандидат технических наук, З. В. МАШАРСКИЙ, кандидат психологических наук, С. О. СТОЙКО, магистр технических наук, Белорусская государственная академия авиации, г. Минск

ТЕХНОЛОГИИ БУДУЩЕГО В АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

3D-печать (метод аддитивного производства) считается одним из самых прорывных нововведений в производственной сфере. Он полностью изменил способ производства деталей/компонентов и оборудования в промышленности, а также их дизайн и разработку. 3D-печать позволяет исследователям и производителям разрабатывать сложные формы и структуры, которые ранее считались невозможными при использовании традиционных методов изготовления. Растущая потребность в гибких объектах для различных применений, таких как адаптивные ветряные турбины, способствовала появлению 4D-печати. Внедрение аддитивного производства – важный виток в развитии авиастроительной отрасли, что позволяет создавать технические объекты облегченной конструкции с уникальными физико-механическими свойствами, при этом снизить вес летательного аппарата, а значит, сократить издержки на топливо и материалы.

Важным этапом в развитии авиации является внедрение аддитивных технологий. Традиционные технологии, которые используются в авиационной промышленности, базируются на ручной сварке, механической обработке литейных процессов. Такой подход требует больших затрат труда, времени и сырья. Метод аддитивного производства осуществляется в автоматическом режиме и является более быстрым и экономным. Оборудование может работать круглосуточно. При этом количество отходов на 70–95 % меньше. В сравнении с классическими методами аддитивная печать снимает производственные ограничения – можно получать детали с более точными геометрическими параметрами, чем при использовании традиционного производства.

Пионером отрасли стала компания GE Aviation (Бостон, США). Производитель авиационных двигателей обратил внимание на то, что использование разных сплавов в детали существенно улучшает её физико-технические свойства и даёт возможность вывести лётные характеристики самолета на принципиально новый уровень. Традиционный метод литья не позволяет объединить разные материалы в рамках одного технологического процесса. В GE Aviation начали работать над усовершенствованием форсунок. Для производства одной детали необходимо по отдельности изготовить около 20 элементов, после чего соединить их в одной запчасти. 3D-принтер, работающий с металлическим материалом, дает возможность изготовить деталь из цельного куска материала, экономя время и деньги. Опытные образцы форсунок прошли сертификацию в 2016 году. Теперь производитель намеревается выпускать по 25000 деталей, сделанных с помощью принтера для трехмерной печати в год.

В научно-исследовательской лаборатории на базе завода производителя Airbus (Тулуза, Франция) пошли еще дальше. Инженеры создали беспилотный летательный аппарат, напечатанный на 3D-принтере [1].

3D-печать уже используется в серийных самолетах Airbus. В широкофюзеляжных лайнерах A350 устанавливается напечатанный кронштейн в составе пилона двигателя. Деталь изготавливается из титанового по-

рошка. В экспериментальных моделях A350 и узкофюзеляжных A320neo тестируются более 1000 деталей, сделанных методом аддитивного производства [1].

В России над внедрением аддитивных технологий в авиапромышленности работают Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (ВИАМ) и Томский политехнический университет. Команда ВИАМ тестирует 3D-печатные комплектующие в двигателях для самолетов МС-21.

В американском «Boeing» не отстают от европейских коллег. Первой серийной моделью, в которой будут использоваться напечатанные металлические элементы, станет лайнер 787.

Продолжением 3D-печати стала прорывная технология – 4D-печать на основе концепции программируемой матери. 4D-печать способна возвести 3D-печать на совершенно новый уровень, вводя еще одно измерение самоорганизации – время. Введение четвертого измерения в технологию аддитивного производства называется 4D-печать. Благодаря этому новому измерению объекты, напечатанные на 3D-принтере, могут самостоятельно изменять свою конфигурацию непосредственно под воздействием различных факторов, таких как физические (температура, влажность, ультрафиолетовый свет), химические (окислители и восстановители органической природы) и биологические (глюкоза и ферменты). Ввиду интеграции измерения времени объекты с печатным изображением динамически изменяют свою форму без внедрения в детали какой-либо электроники, стандартных машинных приводов или громоздких батарей [2].

Концепция 4D-печати опирается преимущественно на пять факторов, которые представлены на рисунке 1 [2].



Рисунок 1 – Концепция 4D-печати

4D процесс печати в основном требует сочетания нескольких материалов и однократного процесса печати. Различия в свойствах материалов обеспечат желаемое поведение при изменении формы. Вот почему 3D-печать является одной из потребностей процесса 4D-печати. В настоящее время применяемые методы 4D-печати включают прямое отверждение, моделирование расплавленного осаждения, стереолитографию, селективное лазерное плавление [4, 5].

В соответствии с изменением физических свойств, таких как форма, типы реагирующих на различные факторы материалы можно разделить на два основных класса: *материалы с изменением формы* (SCM – Shape-changing Materials) и *материалы с памятью формы* (SMM – Shape Memory Materials). Изменяющие форму материалы – это материалы, которые обладают свойствами, вызванными факторами, известные как эффект изменения формы (SCE – Shape-changing Effect). Они деформируются в ответ на воздействующие факторы и могут вернуться к своей постоянной форме, когда факторы удалены. Материалы с памятью формы способны восстанавливать свою первоначальную форму из деформированной формы при воздействии определенных факторов, и это известно как эффект памяти формы (SME). SMM требуют двух шагов для формирования полного цикла памяти формы. Первым шагом является деформация материала во временную форму посредством «процесса программирования» (рисунок 2), за которым следует «процесс восстановления формы». SMM будут оставаться постоянными во временной форме, пока не будет применен правильный оптимальный фактор, чтобы запустить процесс восстановления формы [6].

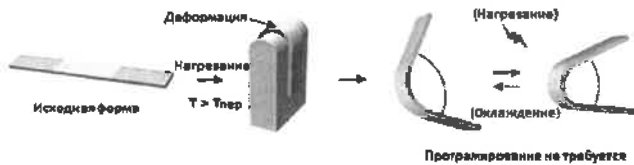


Рисунок 2 – Двусторонний эффект памяти формы

В 4D-печати используются следующие материалы с памятью формы: сплавы с памятью формы (SMA – Shape Memory Alloys), полимеры с памятью формы (SMP – Shape Memory Polymers), гели с памятью формы (SMG – Shape Memory Gels), керамика с памятью формы (SMC – Shape Memory Ceramics) и другие гибридные материалы с памятью формы (SMH – Shape Memory Hybrid) [7]. Кратко о каждом из них.

SMA: демонстрируют эффект памяти формы на основе мартенситного перехода. Мартенситное превращение – полиморфное превращение, при котором изменение взаимного расположения составляющих кристаллов атомов происходит путем их упорядоченного перемещения, причем относительные смещения соседних атомов малы по сравнению с межузельным расстоянием. В качестве примера можно рассматривать интерметаллиды сплава Ni-Ti с составом, близким к эвтектическому, характерен переход от кубической (аустенитной фазы) к моноклинной (мартенситной) фазе при комнатной температуре. Такие превращения обычно происходят в сплавах при высоких напряжениях, но в результате наличия эффекта памяти или суперэластичности превращения могут происходить и

при низких напряжениях. При разгрузке мартенсит становится нестабильным и переходит в аустенит с компенсацией всех макроскопических напряжений [8].

Перестройка кристаллической решетки в микрочастицах обычно сводится к деформации ее ячейки, и конечная фаза мартенситного превращения – однородно деформированная исходная фаза. Величина деформации мала (~1–10 %), и, соответственно, мал по сравнению с энергией связи в кристалле энергетический барьер, препятствующий однородному переходу исходной фазы в конечную (рисунок 3) [9].

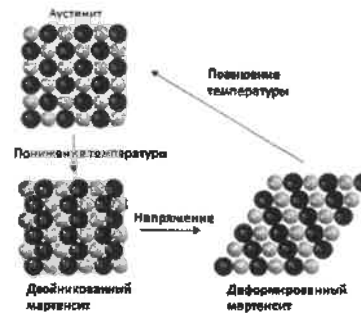


Рисунок 3 – Эффект памяти на основе мартенситного перехода

SMP: аморфно-кристаллические и аморфные полимеры, определяющиеся высокомолекулярным строением материала и связаны, в основном, с фазовым (кристаллизация, плавление) или релаксационными (стеклование) переходами. Восстановление формы происходит в управляемом режиме при воздействии различных внешних факторов: тепло, электрический ток, магнитные поля, различные излучения и тому подобное. Кроме того, SMP, в отличие от металлов и керамик, испытывают более низкие напряжения при деформировании и могут сохранять значительные восстанавливаемые деформации.

SMC: аналогичный эффект для сплавов ожидается в керамике с определенным фазовым переходом.

SMG: в последние годы исследователи сосредоточились на геле с памятью формы (SMG), и он рассматривается как один из самых многообещающих новых материалов, которые могут удовлетворить будущий спрос как «умный» материал. Данный гель может запомнить свою первоначальную форму, которая происходит во время процесса гелеобразования, и это явление называется свойством восстановления формы. SMG становится мягким и эластичным, если его нагреть при температуре выше критической, где он меняет свое состояние фазы. После деформации этот гель может восстановить свою первоначальную форму при нагревании при температуре выше критической [10].

SMH: материал обычно состоит как минимум из двух компонентов, один из которых является упругим, а другой – переходным. В этой комбинации кластический компонент сохраняет энергию после программирования, в то время как переходный компонент способен размягчаться при нагревании до температуры выше температуры перехода и затем в значительной степени сохраняет деформированную форму после охлаждения для затвердевания. При нагревании для повторного смягчения переходной компоненты запас упругой энергии, накопленной в упругом компоненте, высвобождается, что обеспечивает движущую силу для восстановления формы гибрида [11].

На основании вышеизложенного следует сделать выводы о перспективе использования 4D-печати в авиационной промышленности. Что касается материалов с памятью формы, существует острая необходимость в разработке методик их включения в авиационную отрасль, для обеспечения гарантии различного качества. 4D-печать имеет существенные преимущества при непосредственном изготовлении сложных трехмерных деталей. Здесь наиболее важным моментом является то, что изготовление менее сложного менее размерного объекта позволило бы получить легкие, быстро изготавливаемые компоненты с более низкими производственными затратами. Кроме того, были бы многообещающим хранение и транспортировка компонентов меньшего размера. Несмотря на то, что 4D-печать является перспективной технологией, ей необходимо преодолеть несколько технологических препятствий, прежде чем она будет широко распространена. Наличие различных авиационных конструкций делает необходимой разработку новых методик их совершенствования. Наконец, рациональным будет внедрение новейших технологических инноваций аддитивного производства, чтобы удовлетворить растущие потребности авиационной промышленности в производстве более крупных и сложных деталей.

Список литературы

1 Wohlers, T. The Faces of Additive Manufacturing / T. Wohlers // Wohlers Report [Electronic resource]. – 2019. – August, 12. – Mode of access : <https://wohlersassociates.com/>. – Date of access : 20.01.2020.

2 Tibbitts, S. 4D printing. MIT self-assembly lab and Stratasys [Electronic resource] / S. Tibbitts. – 2013. – Mode of access :

<http://www.selfassemblylab.net/4DPrinting.php>. – Date of access : 18.04.2020.

3 A review of 4D printing / F. Momeni [et al.] // *Materials Desing.* – 2017. – Vol. 122. – P. 42–79. – DOI: <http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.matdes.2017.02.068>.

4 Biomimetic 4D printing / A. Sydney Gladman, [et al.] // *Nature Materials.* – 2016. – Vol. 15. – P. 413–418. – DOI: 10.1038/nmat4544.

5 4D Printing with Mechanically Robust, Thermally Actuating Hydrogels / Sh.E. Bakarich [et al.] // *Macromol Rapid Commun.* – No. 36(12). – 2015. – P. 1211–1217. – DOI: [org/10.1002/marc.201500079](http://dx.doi.org/10.1002/marc.201500079).

6 Kuksenok, O. Stimuli-responsive behavior of composites integrating thermo-responsive gels with photo-responsive fibers† / O. Kuksenok, A. C. Balazs // *Materials Horizons.* – 2016. – No. 3 (1). – P. 53–62.

7 Zhou, J. Reversible shape-shifting in polymeric materials / J. Zhou, S. S. Sheiko // *Polymer Physics.* – Part B. – 2016. – No. 54. – P. 1365–1380. – DOI: [org/10.1002/polb.24014](http://dx.doi.org/10.1002/polb.24014).

8 4D printing: processability and measurement of recovery force in shape memory polymers / M. D Monzon [et al.] // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology.* – 2017. – Vol. 89(5–8). – P. 1827–1836. – DOI: [org/10.1007/s00170-016-9233-9](http://dx.doi.org/10.1007/s00170-016-9233-9).

9 4D printing with smart materials. [Electronic resource] / presented by I. A. Khan [et al.]. – 2015. – Mode of access : <https://www.slideshare.net/Funk98/4d-printing-with-smart-materials>. – Date of access : 18.04.2020.

10 Stimulus-responsive shape memory materials: a review / L. Sun [et al.] // *Materials & Design.* – 2012. – Vol. 33. – P. 577–640. – DOI: 10.1016/j.matdes.2011.04.065.

11 Sethna, J. P. Digital material: Overview [Electronic resource] / J. P. Sethna. – 2017. – Mode of access : <http://www.laspp.cornell.edu/sethna/DM/>. – Date of access : 18.04.2020.

Получено 15.05.2020

A. A. Zhukova, A. F. Zaiko, Z. V. Masharsky, S. O. Stoiko. Technologies of the future in the aerospace industry.

3D printing (the additive production method) is considered one of the most breakthrough innovations in the field of modern production. He completely changed the way manufacturing parts / components and equipment in industry, as well as their design and development. 3D printing allows manufacturers and researchers to develop complex shapes and structures that were previously considered impossible using traditional manufacturing methods. The growing demand for flexible objects for various applications, such as adaptive wind turbines, has contributed to the emergence of 4D printing. The introduction of additive production is an important step in the development of the aircraft industry, which allows the creation of lightweight technical objects with unique physical and mechanical properties, while lightening the aircraft, which means reducing fuel and material costs.

УДК 656.025.2

В. О. ПЕВЗNER, доктор технических наук, В. Н. КАПЛИН, начальник Экспериментального кольца, В. В. ТРЕТЬЯКОВ, кандидат технических наук, Е. А. СИДОРОВА, кандидат технических наук, Е. А. ПОЛУНИНА, руководитель группы научного центра «Динамика и прочность тягового подвижного состава», Акционерное общество «ВНИИЖТ», г. Москва

ПРИМЕНЕНИЕ УПРУГИХ ПОДШПАЛЬНЫХ ПРОКЛАДОК В ЗОНЕ РЕЛЬСОВЫХ СТЫКОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ ПУТИ

Приведен анализ основных факторов, влияющих на работу железнодорожного пути в современных условиях эксплуатации, и рассмотрена эффективность применения упругих подшпальных прокладок в зоне рельсовых стыков для повышения стабильности пути на железобетонных шпалах. В статье описаны результаты эксперимента по влиянию применения подшпальных прокладок в зоне стыка на накопление осадок пути, который был проведен на Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ». Уделено внимание срокам окупаемости предлагаемых технических решений.

Современные условия эксплуатации инфраструктуры характеризуются рядом факторов, обуславливающих коренное отличие от условий периодов. В их числе, во-первых, появление инновационных вагонов с нагрузкой на ось 25 тс против ранее существовавших 23,5 тс. Как известно из многочисленных исследований, рост расстройств пути пропорционален росту средних нагрузок на путь в степени 2–4, т. е. воздействие этих вагонов на путь может привести к росту расстройств пути на 13–28 %. Доля таких вагонов в парке уже превышает 20 %.

Вторым по степени влияния фактором является рост масс поездов. При современных видах тяги массы поездов достигают 8–9 т, а сдвоенных 12–14 тыс. т. Как показали результаты исследований АО «ВНИИЖТ», рост сил, действующих на путь от тяжеловесных поездов, составляет около 10 %.

С точки зрения организации технического обслуживания пути новым фактором является увеличение плотности поездопотока с интервалами между поездами 6–10 мин, что практически исключает возможность выполнения основной массы путевых работ без предоставления «окон».

В наибольшей степени вышеперечисленные факторы сказываются на работе пути в зоне стыков, особенно на железобетонных шпалах.

Количество таких стыков в последнее время неуклонно возрастает, т. к. они существуют не только в уравнильных пролетах, на стрелочных переводах и в кривых малых радиусов, но и в местах восстановления плетей бесстыкового пути с постановкой рубок на накладках.

Для оценки возможности повышения стабильности пути в зоне стыков и снижения уровня расстройств на Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ» на станции Щербинка был организован цикл исследований по оценке эффективности применения упругих подшпальных прокладок [1].

При выправке просядок пути 12–14 мм под стыковые шпалы были уложены упругие амортизаторы по две штуки с каждой стороны стыка. Опытный участок состоит из шести стыков с уложенными под шпалы упругими амортизаторами и одного контрольного стыка типовой конструкции (рисунок 1).

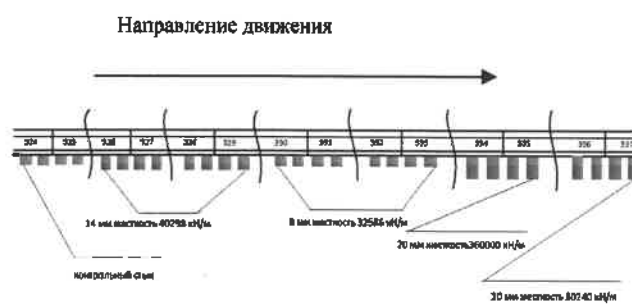


Рисунок 1 – Схема укладки подшпальных прокладок

Характеристики укладываемых прокладок приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики упругих прокладок

Габариты, мм	Модуль сжатия, МПа	Жесткость, кН/м
1000×250×20	1,07	36000
1000×250×20	0,913	30240
1000×250×14	1,128	40298
1000×250×8	0,535	32586

В процессе исследований проводились измерения остаточной осадки пути в стыках опытного участка по правой и левой нитям. Диаграммы остаточной осадки пути в стыках при различной жесткости прокладок для значений пропущенного тоннажа 405 млн т брутто и 810 млн т брутто показаны на рисунке 2.

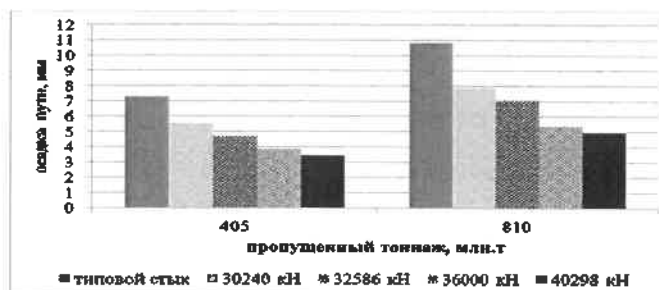


Рисунок 2 – Диаграммы остаточных осадок пути в стыках при различной жесткости подшпальных прокладок для тоннажа 405 млн т брутто и 810 млн т брутто

Анализ диаграмм остаточной осадки пути от пропущенного тоннажа показывает, что в типовом стыке 324/325 после пропуска 400 млн т брутто значение

остаточной осадки пути составляет 7,3 мм, что значительно больше, чем в стыках с уложенными под шпалу прокладками разной толщины и жёсткости. Из всех уложенных под шпалу прокладок максимальные значения остаточных осадок пути отмечены в стыках с уложенными прокладками толщиной 20 мм и жесткостью 30240 кН/м – 5,5 мм, стык 336/337. Минимальные остаточные осадки зафиксированы в стыках при толщине уложенных прокладок 14 мм, и жесткостью 40290 кН/м – 3,4 мм.

Всего в ходе эксперимента по опытному участку было пропущено 830 млн т в ходе движения состава массой около 8000 т, состоящего из полувагонов с осевой нагрузкой 23,5–25 тс при ежедневной наработке тоннажа 1–1,2 млн т брутто.

За весь период наблюдений никаких работ по выправке опытных стыков не проводилось, кроме подтяжки стыковых болтов.

В ходе проводимых исследований через каждые 100 млн т брутто пропущенного тоннажа, проводились измерения положения пути в продольном профиле в стыковых зонах опытного участка. График накопления осадок отображен на рисунке 3.

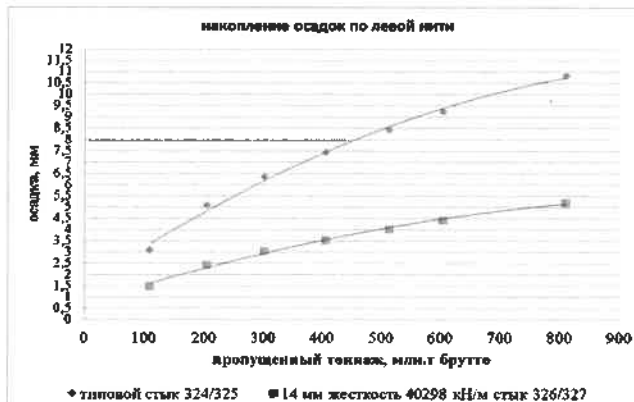


Рисунок 3 – Накопление осадок пути

На основании накопленного опыта проведения работ по выправке пути на Экспериментальном кольце, разработан технологический процесс по укладке упругих амортизаторов под подошву железобетонных шпал (таблица 2). Подобная технология выправки неисправностей пути ранее не применялась.

Для оценки нагрузок, передаваемых железобетонными шпалами на балласт, было принято решение провести замеры ускорений в зоне типовых стыков и стыков с уложенными под шпалу упругими амортизаторами.

Экспериментальные исследования проводились на 2-м кольцевом пути Экспериментального кольца АО «ВНИИЖТ», в кривой радиусом R 860 м, рельсы типа Р65, шпалы железобетонные, скрепления КБ65. Для проведения исследований был подготовлен опытный участок с тремя разными конструкциями стыков:

- типовая конструкция стыка;
- типовой стык с подшпальными прокладками;
- сварной стык с подшпальными прокладками.

Для того чтобы не нарушать слежавшуюся постель железобетонных шпал, измерительные приборы (акселерометры) закреплялись на железобетонных шпалах в засверленные отверстия по обоим концам шпал. Тип акселерометров НВМВ12/500. На каждом из видов стыков измерения ускорений производилось на двух шпалах под принимающим рельсом (шпала № 2, 3) (рисунок 4) [2].

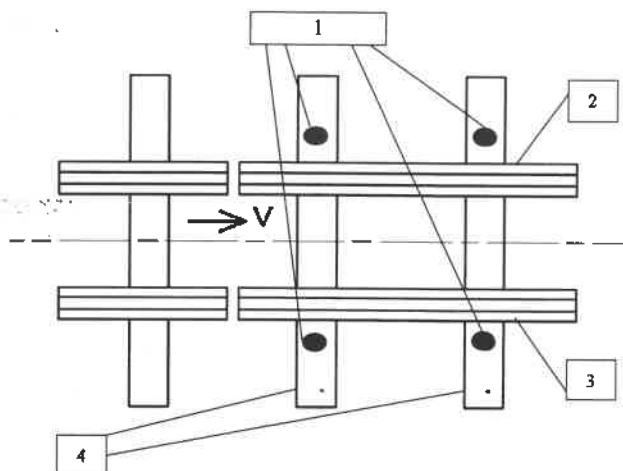


Рисунок 4 – Схема расположения приборов на участке: 1 – акселерометры; 2 – наружный рельс; 3 – внутренний рельс; 4 – принимающие шпалы (первая и вторая)

На каждую шпалу устанавливалось по два акселерометра у наружного и внутреннего рельсов. Измерение ускорений на шпалах проводились при проходе по опытному участку грузового состава, состоящего из восьмиосного электровоза ВЛ80с и 10 грузовых полувагонов с нагрузкой 23,5 т на ось при движении со скоростями 25, 40 и 60 км/ч. Измерения сигналов производились системой Spider8 с несущей частотой 4,8 кГц при частоте оцифровки до 600 Гц.

В качестве сравнительных характеристик типового стыка и стыка с упругой подшпальной прокладкой были использованы ускорения на первой принимающей шпале. Для типового стыка среднее значение ускорений составило 313,0 м/с², а для типового стыка с упругой прокладкой – 139,9 м/с².

На рисунках 5, 6 представлены зависимости ускорений в типовом стыке и стыке с упругими прокладками под шпалами от скорости. Зависимости, представленные на рисунках 9 и 10, описаны для диапазона скоростей от 25 до 60 км/ч.

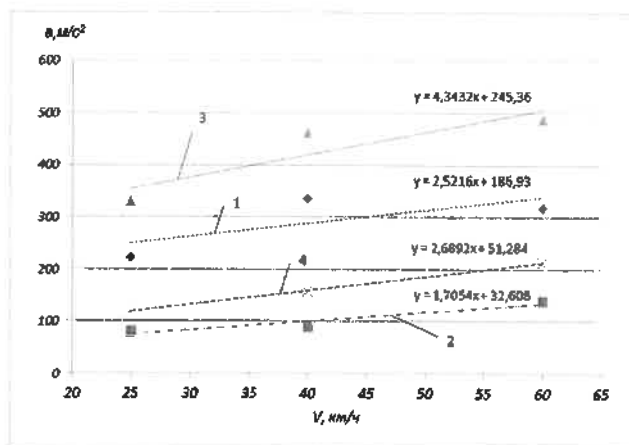


Рисунок 5 – Ускорения на первой (принимающей) шпале. Внутренний рельс: ◆ – типовой стык (средние значения ускорений); ■ – типовой стык с упругой прокладкой (средние значения ускорений); ▲ – типовой стык (максимальные значения ускорений); × – типовой стык с упругой прокладкой (максимальные значения ускорений); 1 – линейная аппроксимация средних значений ускорений в типовом стыке; 2 – линейная аппроксимация средних значений ускорений в типовом стыке с упругой прокладкой; 3 – линейная аппроксимация максимальных значений ускорений в типовом стыке; 4 – линейная аппроксимация максимальных значений ускорений в типовом стыке с упругой прокладкой

Таблица 2 – График распределения работ при выправке просадок в стыках железобетонных шпал укладкой упругих

Наименование работ	Время в минутах на 12 концов шпал										
	7,31	5,69	50,7	15,24	70,8	2,05	1,50	5,70	1,94	22,8	
Очистка скреплений от грязи	1-2										
Подбор и раскладка регулировочных прокладок на концы шпал		1-2									
Смазка и подтягивание гаек			1-2								
Уплотнение болтов шпальных ящиков				1-2							
Удаление щебеночного балласта от торцов шпал					1-2						
Установка гидравлического домкрата под подошву рельса с подготовкой места установки						1-2					
Вывешивание рельсо-шпальной решетки							1-2				
Укладка упругих прокладок								1-2			
Опускание рельса, снятие домкрата с заравниванием балласта									1-2		
Оправка балластной призмы										1-2	

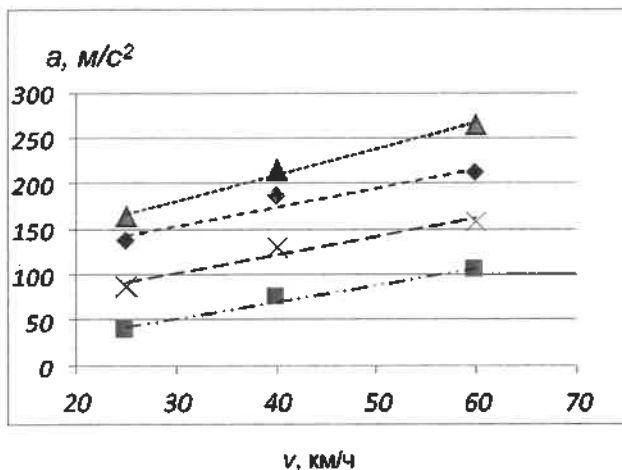


Рисунок 6 – Ускорения на второй (принимающей) шпале.

Внутренний рельс:

◆ – типовой стык (средние значения ускорений); ■ – типовой стык с упругой прокладкой (средние значения ускорений); ▲ – типовой стык (максимальные значения ускорений); × – типовой стык с упругой прокладкой (максимальные значения ускорений); 1 – линейная аппроксимация средних значений ускорений в типовом стыке; 2 – линейная аппроксимация средних значений ускорений в типовом стыке с упругой прокладкой; 3 – линейная аппроксимация максимальных значений ускорений в типовом стыке; 4 – линейная аппроксимация максимальных значений ускорений в типовом стыке с упругой прокладкой

В среднем по всем скоростям на первой принимающей шпале в типовом стыке по сравнению со второй среднее значение ускорения выше в 1,63 раза, а максимальные – в 1,98 раза.

При наличии прокладки под шпалой разница составляет по средним значениям 26 %, а по максимальным – 99 %.

Расчетные значения вертикальных сил в типовом стыке в 2,3–2,6 раза выше, чем в стыке с подшпальными

прокладками, значения ускорений, полученных при проведении экспериментов в типовом стыке, по средним значениям выше в 2,9 раза, по максимальным значениям выше в 2,65 раза, чем в стыке с упругими амортизаторами под шпалой. Таким образом, полученные соотношения позволяют дать косвенную оценку схожести расчетных и экспериментальных данных.

Проведённые технико-экономические расчёты имеют своей целью показать, что способ выправки пути с укладкой упругих амортизаторов под шпалы является целесообразным и имеет свою эффективную область применения на сети дорог.

Для анализа экономической эффективности способа выправки пути с укладкой упругих подшпальных прокладок были рассмотрены варианты при грузонапряженности 50, 100 и 150 млн т брутто в год (рисунок 7).

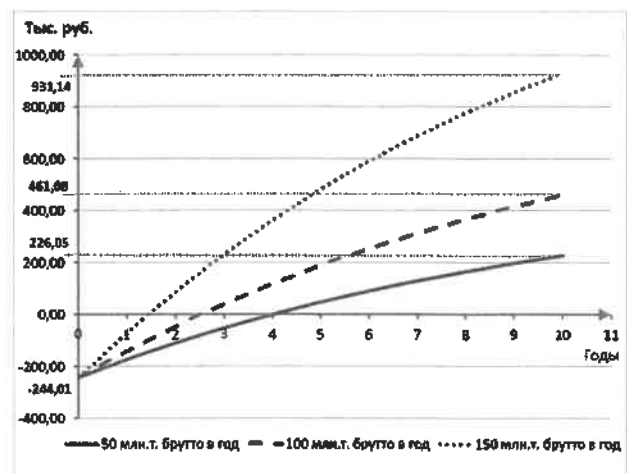


Рисунок 7 – Срок окупаемости укладки упругих прокладок под шпалы в стыках

Экономический эффект от применения подшпальных прокладок при выправке стыков уравнильных пролетов бесстыкового пути при грузонапряженности 50 млн т брутто в год достигается на пятый год эксплуатации, при грузонапряженности 100 млн т брутто – на третий год эксплуатации, при грузонапряженности 150 млн т брутто – на второй год эксплуатации.

Проведенные исследования влияния упругих амортизаторов, уложенных под подошву шпалы на интенсивность накопления деформации пути позволили сделать следующие выводы.

1 Устранение просадок амплитудой до 12 мм, которые возникают в стыках на железобетонных шпалах, с помощью упругих прокладок-амортизаторов, укладываемых под подошву шпал в подрельсовых сечениях, является эффективным способом текущего содержания пути.

2 Результаты эксплуатационных наблюдений показали, что после укладки упругих подшпальных прокладок-амортизаторов для устранения просадок глубиной до 12 мм дополнительная выправка не потребовалась до пропуска более 800 млн т.

Получено 10.03.2020

V. O. Pevzner, V. N. Kaplin, V. V. Tretyakov, E. A. Sidorova, E. A. Polunina. Application of elastic understanding gaskets in the zone of rail joints to increase stability of the way.

The report provides an analysis of the main factors affecting the operation of the railway track in modern operating conditions, and considers the effectiveness of the use of elastic under-sleeper pads in the area of rail joints to improve track stability on reinforced concrete sleepers. The report describes in detail the results of the experiment on the effect of the use of cotting pads in the junction zone on the accumulation of track sediments, which was carried out on the Experimental Ring of VNIIZhT JSC. Special attention is paid to the payback periods of the proposed technical solutions.

3 После пропуска 830 млн т изъятые из пути прокладки-амортизаторы сохранили размеры по толщине и не имели повреждений поверхности.

4 Наилучшие результаты с точки зрения накопления остаточных деформаций имели прокладки жесткостью 40298 кН/м.

5 Исследования по оценке динамического воздействия подвижного состава на путь в стыковой зоне показали, что ускорения на принимающих шпалах стыка с упругими прокладками в 2,9 раза по средним значениям и в 2,65 раза по максимальным значениям ниже, чем в типовом стыке.

Список литературы

1 Повышение стабильности пути в зоне стыков за счет применения упругих подшпальных прокладок / В. О. Певзнер [и др.] // Вестник ВНИИЖТ. – 2016. – № 3. – С. 140–146.

2 Расчетно-экспериментальная оценка влияния использования подшпальных прокладок на показатели динамического воздействия подвижного состава на путь в стыковой зоне / В. Н. Каплин [и др.] // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2019. – № 4. – С. 241–248.

УДК 656.1

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

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОСВЕЩЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕЕЗДОВ ПО ПОКАЗАТЕЛЮ ВИДИМОСТИ

Представлен анализ оценок качества освещения железнодорожных переездов на основе современной европейской концепции освещенности и видимости. Приведены практические рекомендации по улучшению видимости объектов и повышению безопасности движения на переезде. Представлен светотехнический расчет в программе DIALux 4.13 для схемы двухпутного железнодорожного переезда в соответствии с требованиями ТКП 543.

Железнодорожные переезды являются зонами повышенной опасности, на которых регистрируются многочисленные случаи дорожно-транспортных происшествий (ДТП). По данным УГАИ МВД РБ, в 93 % основная причина – несоблюдение водителями транспортных средств правил дорожного движения. Однако в ряде исследований причин аварийности на железнодорожных переездах отмечается, что существуют сопутствующие причины ДТП. Например, в работе Карасевича С. Н. [1], посвященной анализу причин ДТП на железнодорожных переездах, указываются следующие:

- отсутствие доверия к устройствам переездной сигнализации вследствие несогласованности скорости движения поезда и времени закрытия переезда;

- необеспеченная видимость переезда и отсутствие своевременной информации об условиях движения в случаях, когда переезд находится за поворотом.

Система электрического освещения на железнодорожных переездах в РБ проектируется в соответствии с ТКП 45-2.04-153, ТКП 45-3.03-19, ТКП 543-2014 и отраслевыми стандартами. В 2002 году на Белорусской железной дороге введен руководящий документ РД РБ 09150.47.005-2004, который на сегодня переработан в СТП БЧ 55.127-2019. Согласно требованиям этого стандарта организации [2] минимальная освещенность на уровне настила в границах переезда должна быть не менее: 5 лк для переезда I категории; 3 лк – II категории; 2 лк – III категории; 1 лк – IV категории.

Сравнение указанных нормативных значений освещенности железнодорожных переездов и требований к освещенности автодорог общего пользования по ТКП 45-3.03-19 [3] показывает, что освещенность автодорожного полотна нормируется значительно выше освещенности переезда IV категории и сопоставима с нормативными значениями для переездов I и II категорий. В случаях примыкания автодорог общего пользования к железнодорожному переезду, что может часто наблюдаться в населенных пунктах, такое соотношение освещенностей недопустимо. В зоне переезда, по аналогии с зоной пешеходного перехода [4], освещенность должна быть увеличена по сравнению с нормой освещения проезжей части примыкающей автодороги.

К примеру пересмотра норм освещенности железнодорожных переездов с целью их повышения на постсоветском пространстве относится разработанный в 2012 г. ОАО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» и введенный в Российской

Федерации ГОСТ Р 54984. Нормируемые значения освещенности для вновь строящихся или реконструируемых железнодорожных переездов всех категорий повышены до 5 лк [5].

Анализ зарубежных подходов к нормированию автомобильных дорог и их «конфликтных зон», в том числе пересечений автодорог и железнодорожных путей в одном уровне, показывает, что проблема плохой видимости на железнодорожных переездах частично исходит от основ концепции нормирования по освещенности. Согласно результатам исследований, которые положены в основу CIE115 [6], при выборе критериев качества для освещения дорог для автомобильного движения обычно используется подход на основе концепции яркости. Освещенность до сих пор используется в некоторых странах, но опыт показал, что это неудовлетворительный критерий.

Человеческий глаз осуществляет различение объектов по разности яркостей (контраста) или цвета (цветового контраста). Причем эта разность зависит от ряда факторов: нахождение в поле зрения блеских источников, времени различения, возраста наблюдателя и др. В совокупности учет всех этих факторов позволяет создать более прогрессивную концепцию нормирования и оценки освещения по видимости объектов.

Важным этапом в разработке нормативных документов по дорожному освещению является переход от косвенного нормирования по яркости к прямому по видимости. Данный переход зафиксирован в CIE115 [6] и более подробно изложен в американском стандарте ANSI/IESNA RP-8-00 [7]. В качестве критерия качества освещения вводится понятие STV (Small Target Visibility), а видимость V_L оценивается по разности яркостей тест-объекта и фона (полотна дороги) в реальных условиях к пороговой разности тех же величин.

Концепция нормирования по показателю видимости V_L не только более эффективна по моделированию реального процесса зрения человека, но и имеет экономические преимущества за счет возможности снижения уровня средней яркости дорожного покрытия [8]. Например, в стандарте [7] отмечается, что для любого заданного уровня яркости адаптации существует максимум для отрицательной видимости V_L (фон светлее объекта), но нет максимума для положительной видимости V_L (фон темнее объекта). Это происходит потому, что объект не может быть темнее нулевой яркости, но при положительной видимости объект теоретически может быть бесконечно ярким. Чтобы максимизировать поло-

жительное значение VL , яркость поверхности объекта должна быть увеличена, а яркость дорожного покрытия уменьшена. Следовательно, необходимо уменьшить горизонтальную освещенность и увеличить вертикальную, что при относительно низком расположении светильников и большом шаге между опорами приведет к снижению установленной мощности.

В практике нормирования освещенности в странах СНГ принято использовать понятие контраста объекта различения с фоном [4]

$$K = \frac{L_{\phi} - L_{об}}{L_{\phi}},$$

где L_{ϕ} – яркость фона, кд/м²; $L_{об}$ – яркость объекта различения, кд/м².

Обычно контраст определяется по модулю, но также встречается понятие положительного и отрицательного контраста. При этом положительный контраст K соответствует отрицательному значению видимости VL , и наоборот. Чтобы избежать путаницы в изложении, далее в статье будет использовано только понятие зон с положительным и отрицательным контрастом.

В соответствии с типовой схемой двухпутного железнодорожного переезда по ТКП 543 [9] в программе DIALux 4.13 была создана модель осветительной установки. Расчетная схема составляется для участка дороги с нестандартной геометрией, поэтому принимается диффузное (соответствующее закону Ламберта) отражение асфальта с коэффициентом отражения 0,2 в соответствии с рекомендациями CIE115 [6].

Для оценки ослепленности водителей была использована величина порогового приращения яркости TI , %:

Таблица 1 – Результаты расчета освещения переезда светодiodными светильниками при различном расположении опор

Расстояние от крайнего рельса	Средняя яркость переезда, кд/м ²	Освещенность переезда		Ослепленность, TI , %
		Минимальная, лк	Неравномерность $E_{мин}/E_{ср}$	
11,4	0,36	2,79	0,49	15,2
7,9	0,55	4,50	0,51	13,8
4,2	0,84	6,06	0,46	17,3

Примечание – $E_{мин}$, $E_{ср}$ – минимальная и средняя освещенности на расчетной поверхности соответственно.

Результаты расчета освещенности переезда подтверждают гипотезу, что близкое расположение осветительных опор к крайним рельсам на переезде значительно повышает уровень его освещенности. Однако результаты расчета видимости объектов при перемещении опор ближе к железнодорожному пути являются не однозначными и можно выделить ряд недостатков:

- объекты с более высокими коэффициентами отражения снижают значение видимости VL до уровня меньше единицы (неразличимы с фоном) на больших расстояниях, например, при установке опор ближе 7,9 м от крайнего рельса в зоне примерно 10 м не будут различимы с фоном объекты с коэффициентом отражения, равным коэффициенту отражения настила переезда;

- при въезде на переезд объекты и элементы обустройства в зоне оси установки дорожного знака 1.3.2 «Многопутная железная дорога» имеют положительный контраст, что может снижать их видимость при допол-

$$TI = 65 \frac{L_v}{L_{ср}^{0,8}},$$

где $L_{ср}$ – средняя яркость настила переезда относительно наблюдателя, кд; L_v – эквивалентная вуалирующая яркость,

$$L_v = 10 \sum_{j=1}^m \frac{E_{зр,j}}{Q_j^2},$$

$E_{зр,j}$ – освещенность на зрачке глаза наблюдателя от j -го осветительного прибора, лк; Q_j – угол между линией зрения наблюдателя и направлением на j -й осветительный прибор, град.

Определение критерия видимости VL осуществляется по методике ANSI/IESNA RP-8-00 [7]. В качестве объекта оценки видимости принята пластина с размерами 0,18×0,18 м, которая расположена от наблюдателя на расстоянии 83,07 м, что сопоставимо с тормозным путем легкового автомобиля при скорости 80–90 км/ч и с учетом дополнительного времени на распознавание объекта. Фоном для оценки контраста и видимости объекта принята средняя яркость на поверхности в уровне дорожного полотна и настила переезда с шириной на одну полосу и длиной 11,77 м. Такой подход к фону частично отличается от указанного в методике [7] расчета по двум крайним точкам, но является более точным по физическому смыслу, так как охватывает объект по всей периферии.

Для повышения освещенности переезда при проектировании стараются поставить опоры освещения как можно ближе к нему. В таблице 1 приведены результаты расчета показателей освещения при высоте установки светильников 6,5 м и разных расстояниях от крайнего рельса: 11,4 м (напротив стоп-линии, за зоной переезда); 7,9 м (между стоп-линией и шлагбаумом, за зоной переезда); 4,2 м (между шлагбаумом и границей настила).

нительном действии света от фар приближающегося автомобиля, который создаёт отрицательный контраст.

Вблизи оси установки дорожного знака 1.3.2 «Многопутная железная дорога» могут быть установлены шлагбаумы и заградительные устройства. В отличие от облегченных шлагбаумов и противотаранных устройств, заградительные устройства эксплуатируются при неблагоприятных условиях, что обуславливает практическую невозможность в любой момент времени обеспечивать хорошую их отражательную способность, даже при применении светоотражающих красок. Следовательно, положительный контраст в зоне расположения таких устройств (рисунок 1) окажет негативное воздействие на безопасность движения по автомобильной дороге при подъезде к переезду. При положительном контрасте наблюдатель видит объект с теневой стороны, что при слабом яркостном контрасте не позволяет ему увидеть цветовой контраст между объектами.

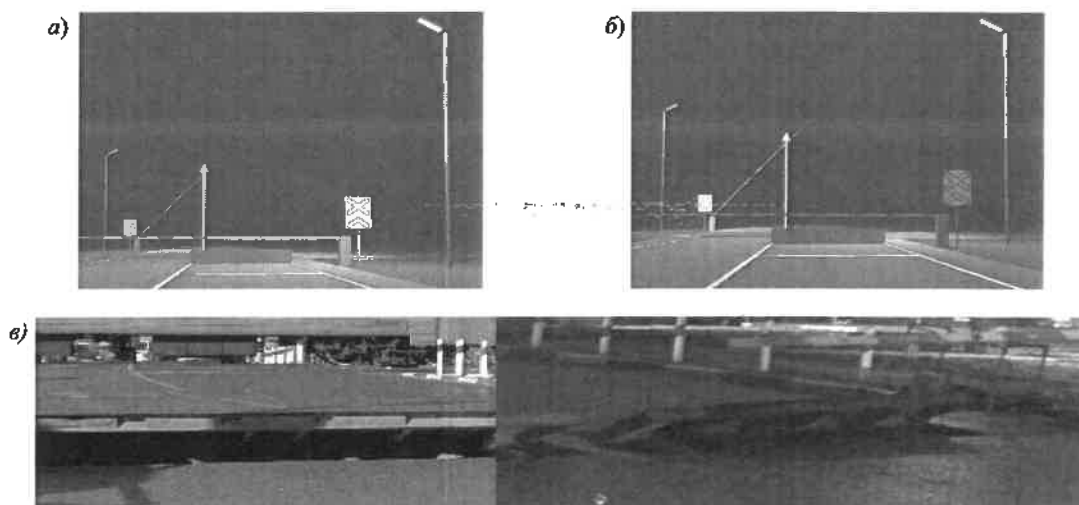


Рисунок 1 – Визуализация в DIALux заградительного устройства при отрицательном (а) и положительном (б) контрасте; фото заградительного устройства днем и ночью при положительном контрасте (в)

При расположении осветительных опор для освещения железнодорожного переезда следует учитывать следующие рекомендации:

1) располагать осветительные опоры на допустимо близком расстоянии к границе железнодорожного переезда для повышения уровней освещенности, контраста и видимости V_L , а также минимизации перехода контрастов при движении объекта по переезду;

2) при наличии облегченных шлагбаумов, противотаранных и заградительных устройств располагать опоры освещения со стороны, противоположной переезду, чтобы не создавать положительный контраст устройств.

Одним из наиболее простых способов улучшения равномерности освещенности (а следовательно, повышения минимальной освещенности на поверхности дороги) является увеличение высоты установки осветительных приборов. Положительным эффектом при увеличении высоты установки осветительных приборов является снижение вуалирующей яркости светильников и ослепленности водителей. Применение опор высотой 9 м взамен 6,5 м приводит к снижению показателя Tl на 15–20 %.

Оценка качества освещения при увеличении высоты установки светильников по методике видимости V_L не

подтверждает эффективность в такого мероприятия. С повышением высоты установки светильников падает видимость светлых объектов, например, для объектов с коэффициентом отражения 0,5 она из области удовлетворительных значений переходит в неудовлетворительную.

Традиционно для освещения переездов, как и автодорог, применяются светильники с широкими боковыми кривыми сил света. Однако оценка показателя видимости V_L показала, что в зоне приближения к переезду до первой осветительной опоры объект имеет положительный контраст с фоном. При переходе через линию оси опоры на дороге контраст изменяется на отрицательный. Если учесть, что одновременно со светильниками объект будут освещать фары движущегося автомобиля, то положительный контраст от осветительных приборов будет ухудшать видимость автомобиля за счет частичной компенсации отрицательного контраста от фар.

Вышеизложенные предположения составляют основу гипотезы о том, что светильники с асимметричной кривой сил света (рисунок 2) являются более эффективными для освещения пешеходных переходов и железнодорожных переездов.

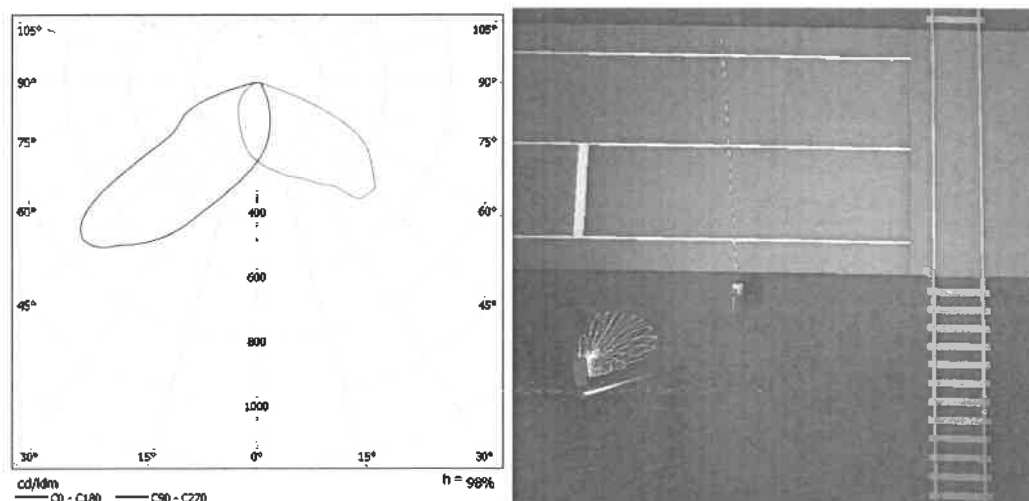


Рисунок 2 – Асимметричная кривая сил света и 3D-представление фотометрического тела осветительного прибора

Светильник с асимметричной кривой сил света по сравнению с широкой кривой сил света имеет лучшие результаты по минимальной и средней освещенности и ослепленности. Такие результаты обусловлены отсутствием излучения света светильника в сторону приближающегося транспорта по ближайшей дорожке. В таком случае уменьшается площадь освещения (отсутствует освещение дорожного полотна до оси осветительной опоры).

Минимизация сил света от первого (до переезда) светильника в направлении водителя при приближении к переезду обеспечивает минимальную вуалирующую яркость, которая обусловлена только излучением второго (за переездом) светильника. Показатель пороговой яркости Tl при движении в наиболее опасной зоне приближения к переезду (до первой опоры) по расчетам снизился в 6 раз, а установленная мощность осветительных приборов – в 1,5 раза при сохранении значения минимальной освещенности.

Выводы.

1 Основными нормативными документами Республики Беларусь и Евразийского экономического союза регламентируется обязательное применение искусственного освещения на железнодорожных переездах, за исключением отдельных случаев переездов IV категории. Сравнение требований Республики Беларусь и Российской Федерации к осветительным установкам переездов показало, что нормативы по минимальной освещенности переездов в соответствии с СТБ БЧ 55.127 для переездов IV–III категорий занижены.

2 При сравнении результатов концепций нормирования освещения по косвенным (освещенность и яркость) и прямым (видимость VL) показателям выявлено, что даже при удовлетворительном уровне освещенности переезда и ее равномерности не всегда будет обеспечено достаточное различие объектов. Особенно это касается зон перехода между положительным и отрицательным контрастами фона и объекта. Целесообразно по примеру Международной комиссии по освещению ввести в апробацию параллельно основным методикам нормирования освещенности зон автодорог, в том числе переездов, методики нормирования видимости. Концепция нормирования по показателям видимости не только более эффективна по моделированию реального процесса зрения человека, но и имеет экономические преимущества за счет возможности снижения уровня средней яркости дорожного покрытия.

3 Для улучшения освещения железнодорожных переездов и повышения энергоэффективности осветительных установок рекомендуется:

а) с целью устранения положительного контраста на шлагбаумах или других заградительных устройствах размещать осветительные опоры в плане переезда как можно ближе к границе переезда, но не ближе 1,5–2 м до осей знаков 1.3.1 «Однопутная железная дорога» или 1.3.2 «Многопутная железная дорога»;

б) для уменьшения ослепленности водителей и увеличения равномерности освещенности переезда повысить высоту установки светильников до 8–9 м в зависимости от кривой сил света конкретного осветительного прибора путем применения складывающихся осветительных опор;

в) применение светодиодных светильников со специальными асимметричными кривыми сил света, что уменьшит зоны положительного контраста и значительно снизит показатели ослепленности водителей при движении к переезду, а также снизит расходы электроэнергии в осветительной установке.

Список литературы

1 Карасевич, С. Н. Влияние технических средств переездного обустройства и условий видимости на безопасность движения / С. Н. Карасевич // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – № 1–2 (14–15). – Гомель, 2006. – С. 124–128.

2 Искусственное освещение наружных территорий и объектов железнодорожного транспорта : СТБ БЧ 55.127-2019: Утв. и введ. приказом ГО «Белорусская железная дорога» от 07.10.2019 № 921НЗ. – Минск, 2019. – 37 с.

3 Автомобильные дороги. Нормы проектирования: ТКП 45-3.03-19-2006* (02250) : утв. и введ. приказом М-ва архит. и строит. Респ. Беларусь от 26.01.2006 № 19. – Минск, 2018. – 50 с.

4 Естественное и искусственное освещение. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-2.04-153-2009 (02250). – Минск, 2010. – 103 с.

5 Освещение наружное объектов железнодорожного транспорта. Нормы и методы контроля: ГОСТ Р 54984-2012 : утв. и введ. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13.09.2012 г. № 302-ст [Электронный ресурс] / Консорциум кодекс. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – Режим доступа : <http://docs.cntd.ru/>. – Дата доступа : 10.06.2019.

6 Lighting of roads for motor and pedestrian traffic. Technical report: CIE 115:2010. – 2nd Edition. – Vienna : Commission internationale DE L'ECLAIRAGE CIE Central Bureau, 2010. – 37 с.

7 Roadway lighting. American National Standard Practice for Roadway Lighting: ANSI/IESNA RP-8-00 / Note: reaffirmation of ANSI/IESNA RP-8-2000* Approved 2005-07-08, 2000-06-27. – 59 p.

8 Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю. Б. Айзенберга. – 3-е изд. перераб. и доп. – М. : Знак, 2006. – 972 с.

9 Железнодорожные переезды. Правила проектирования, устройства и эксплуатации: ТКП 543-2014 (20190). – Минск, 2014. – 74 с.

Получено 21.12.2019

I. S. Evdasev, V. N. Galushko, A. P. Muzok. Assessment the quality of lighting at level crossings by visibility and railways flows.

The article presents the development of ways to improve traffic safety at level crossings by increasing the reliability of evaluating indicators and improving artificial lighting. The traditional and progressive concepts of standardizing indicators of artificial lighting for conflict zones are considered. The lighting design is presented in the DIALux 4.13 program for a double-track railway crossing scheme in accordance with the requirements of ТКП 543.

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 624.01/04

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

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕТОНА ПО СЕЧЕНИЮ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Приведены результаты многолетних исследований карбонизации по сечению бетонов различных классов по прочности на сжатие колонн, эксплуатирующихся в разных атмосферных условиях. Выполнен анализ оценки состояния защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре различными методами.

Введение. Известно, что карбонизация бетона вызывает его структурные изменения, приводя к снижению защитных свойств по отношению к стальной арматуре. Защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре определяются водородным показателем водной вытяжки цементного камня (показатель рН). В свою очередь, его изменение определяет образование карбонатов, которые возможно оценивать карбонатной составляющей (показатель КС), показывающей в процентном отношении количество образовавшегося карбоната кальция (CaCO_3) в цементно-песчаной фракции бетона [1].

Общепринято глубину карбонизации бетона оценивать фенолфталеиновым тестом (ФФТ). В зоне нанесения индикатора ФФТ показывает изменение показателя рН в пределах 8,3 до 14. По результатам исследований авторов [2] в зоне резкого перехода цвета цементно-песчаной фракции значение показателя рН составляет $\approx 10,3$; в соответствии с термодинамическими расчетами В. И. Бабушкина [3] коррозия стальной арматуры возможна при $\text{pH} < 11,8$. В то же время считается, что при $\text{pH} = 9,0$ бетон полностью теряет свои защитные свойства по отношению к стальной арматуре [1].

Результаты экспериментов и их обсуждение. Задачей исследований явился анализ объективности выполнения оценки состояния защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре методом ФФТ.

Оценивали состояние защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре для колонн (как мас-

сивных элементов, размеры поперечного сечения которых позволяют отбирать образцы бетона на значительную глубину), эксплуатировавшихся длительные сроки в различных атмосферных условиях (сельскохозяйственных помещений, открытой атмосферы, общественных зданий и промышленных с неагрессивной эксплуатационной средой) и подверженных соответственно поврежденности различной степени интенсивности.

Методика отбора образцов и определения показателей рН и КС приведена в [4].

В качестве примера на рисунках 1–6 приведены результаты исследований бетона колонн, эксплуатировавшихся различные сроки в разных атмосферных условиях. На всех графиках точками обозначены усредненные значения показателей рН и КС, полученные из двух проб цементно-песчаной фракции бетона (основной и контрольной). Горизонтальной пунктирной линией «А» отмечена граница с $\text{pH} = 11,8$, линией «Б» – с $\text{pH} = 10,3$. В дальнейшем, для анализа полученных графических зависимостей по рН-метрии, используем следующие обозначения: $\text{pH} = 11,8$ – анализ по pH_p ; $\text{pH} = 10,3$ – анализ по $\text{pH}_{\text{ффт}}$.

Коровник со сроком эксплуатации 20 лет.

Колонны средних пролетов, сечением 300×300 мм. Измеренная средняя поверхностная прочность бетона $f_{\text{сж}} = 28,3$ МПа, что соответствует классу бетона по прочности на сжатие $\text{C}^{18}/_{22,5}$.

Результаты изменения по сечению бетона показателей рН и КС приведены на рисунке 1.

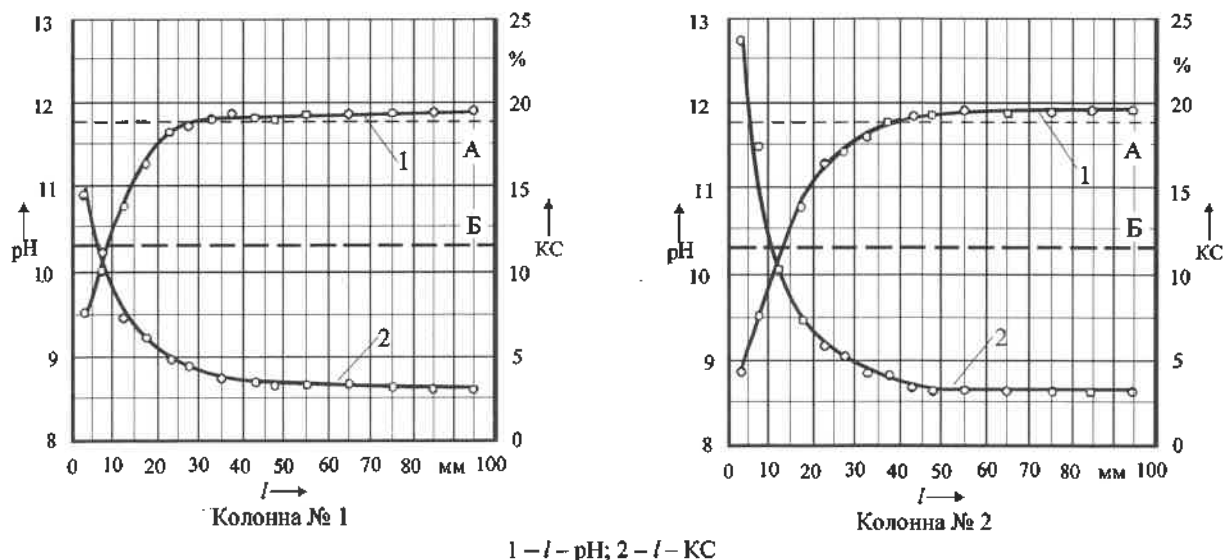
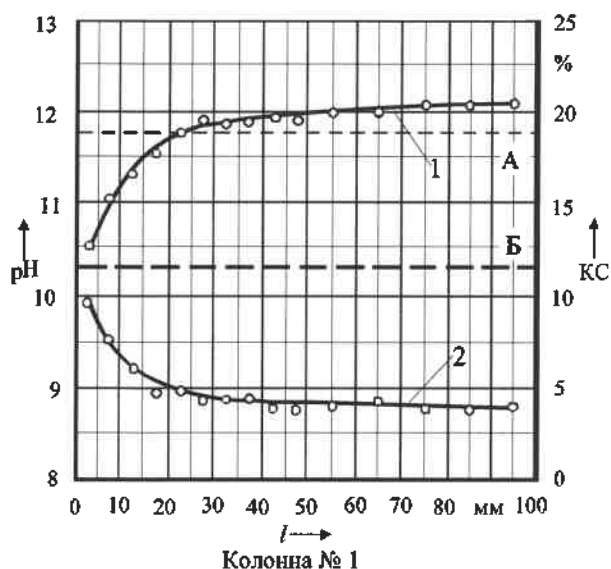


Рисунок 1 – Экспериментальные зависимости l – рН и l – КС для колонн коровника, эксплуатировавшегося 36 лет

При использовании ФФТ глубина карбонизированного слоя бетона на участках отбора проб составила, в среднем, для колонны № 1 – 10 мм, колонны № 2 – 13 мм.

В соответствии с $pH_{тр}$ (см. рисунок 1, линия «А»), бетон колонны № 1 потерял защитные свойства по отношению к стальной арматуре на глубину ≈ 28 мм, колонны № 2 – ≈ 40 мм. По $pH_{ффт}$ (см. рисунок 1, линия «Б»), бетон потерял защитные свойства на глубину: колонна № 1 – ≈ 9 мм, № 2 – ≈ 14 мм. Разница в оценке глубины карбонизации обоими методами составила 19–26 мм.

Исходя из вышесказанного, по $pH_{ффт}$ бетон сохраняет свои защитные свойства по отношению к стальной арматуре в зоне ее расположения (толщина защитного слоя составила, в среднем, 20 мм), по $pH_{тр}$ существующий защитный слой уже не выполняет своих функций по сохранению стальной арматуры в пассивном состоянии.



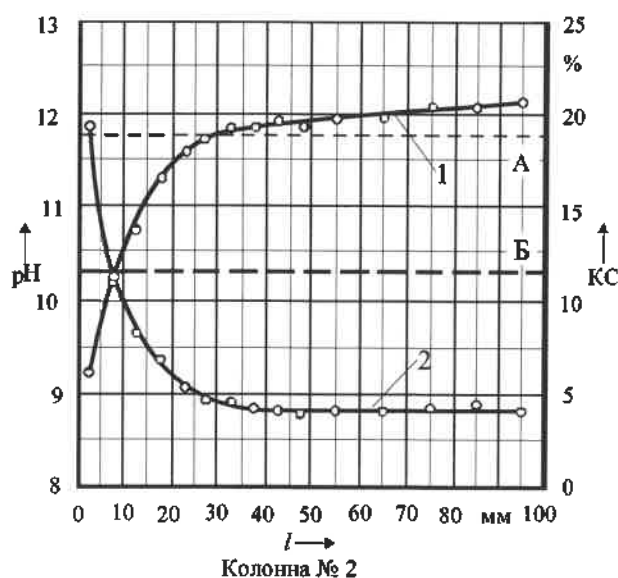
В соответствии с $pH_{ффт}$ бетон потерял свои защитные свойства на площади поперечного сечения: колонна № 1 – 12 %, колонна № 2 – 18 %, по $pH_{тр}$, соответственно: колонна № 1 – 34 %, колонна № 2 – 46 %.

Промышленное здание со сроком эксплуатации 23 года.

Колонны крайнего ряда, сечением 400×400 мм. Измеренная средняя поверхностная прочность бетона составила $f_{ck} = 37,4$ МПа, что соответствует классу бетона по прочности на сжатие – $C^{25}/_{30}$.

По ФФТ, глубина карбонизированного слоя бетона на участках отбора проб составила, в среднем, для колонны № 2 – 7 мм, бетон колонны № 1 не карбонизирован.

Результаты изменения по сечению бетона показателей pH и КС приведены на рисунке 2.



1 – l – pH; 2 – l – КС

Рисунок 2 – Экспериментальные зависимости l – pH и l – КС для колонн промышленного здания, эксплуатировавшегося 23 года

По $pH_{тр}$ (см. рисунок 2, линия «А») бетон колонн потерял защитные свойства по отношению к стальной арматуре на глубину: колонна № 1 – ≈ 22 мм, № 2 – ≈ 28 мм. По $pH_{ффт}$ (линия «Б») бетон потерял защитные свойства в колонне № 2 на глубину 8 мм, а в колонне № 1 не карбонизирован. Разница в оценке глубины карбонизации методами pH-метрии составила до 22 мм.

Результаты исследования показывают, что по $pH_{ффт}$ бетон сохраняет свои защитные свойства по отношению к стальной арматуре в зоне ее расположения (толщина защитного слоя составила, в среднем, 21 мм), по $pH_{тр}$ существующий защитный слой уже не выполняет своих функций по сохранению стальной арматуры в пассивном состоянии.

В соответствии с $pH_{ффт}$ бетон потерял свои защитные свойства на площади поперечного сечения: колонна № 1 – 0 %, колонна № 2 – 8 %, по $pH_{тр}$ соответственно: колонна № 1 – 21 %, колонна № 2 – 26 %.

Недостроенное здание каркасного типа со сроком нахождения в условиях открытой атмосферы 18 лет.

Колонны крайнего ряда, сечением 400×400 мм. Измеренная средняя поверхностная прочность бетона составила $f_{ck} = 38,2$ МПа, что соответствует классу бетона по прочности на сжатие $C^{25}/_{30}$.

При использовании ФФТ, глубина карбонизированного слоя бетона на участках отбора проб составила, в среднем, для колонны № 1 – 10 мм, колонны № 2 – 13 мм.

Результаты изменения по сечению бетона показателей pH и КС приведены на рисунке 3.

По $pH_{тр}$ (рисунок 3, линия «А») бетон колонн потерял защитные свойства по отношению к стальной арматуре на глубину: колонна № 1 – ≈ 25 мм, № 2 – ≈ 41 мм. По $pH_{ффт}$ (линия «Б») бетон потерял защитные свойства на глубину: колонна № 1 – ≈ 7 мм, № 2 – ≈ 10 мм.

Разница в оценке глубины карбонизации методами pH-метрии составила 18–31 мм.

Результаты исследования показывают, что по $pH_{ффт}$ бетон сохраняет свои защитные свойства по отношению к стальной арматуре в зоне ее расположения (толщина защитного слоя составила, в среднем, 15 мм), по $pH_{тр}$ существующий защитный слой уже не выполняет своих функций по сохранению стальной арматуры в пассивном состоянии.

В соответствии с $pH_{ффт}$ бетон потерял свои защитные свойства на площади поперечного сечения: колонна № 1 – 7 %, колонна № 2 – 10 %, по $pH_{тр}$ соответственно: колонна № 1 – 23 %, колонна № 2 – 37 %.

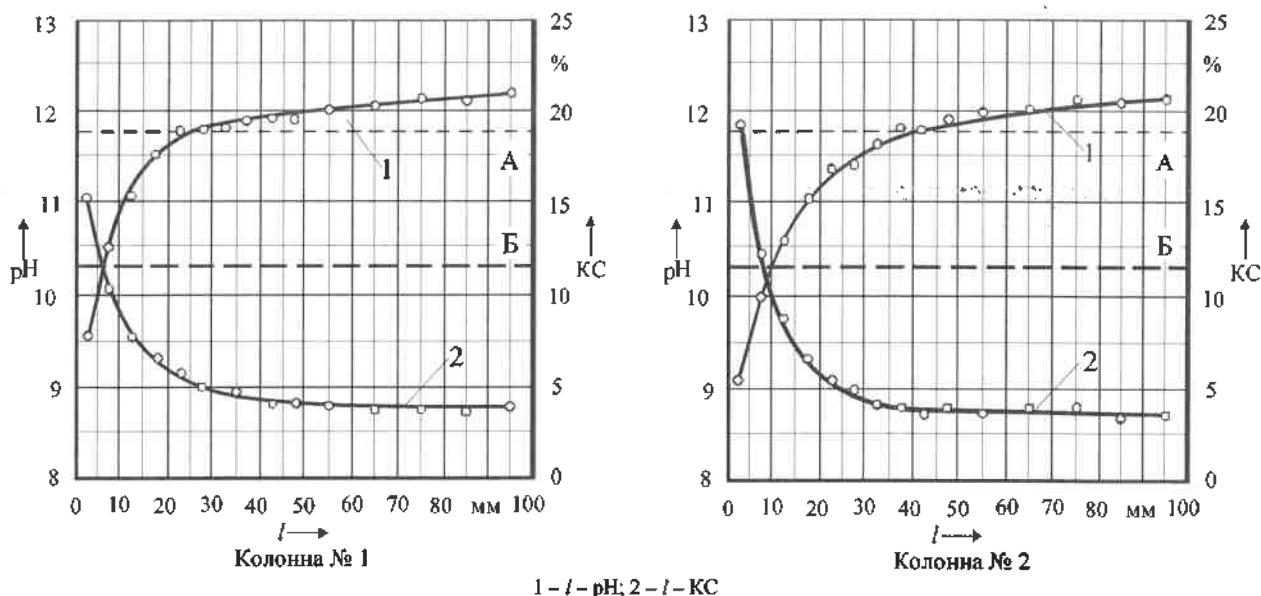


Рисунок 3 – Экспериментальные зависимости l – pH и l – КС для колонн, находившихся в условиях открытой атмосферы 18 лет

Постепенное изменение концентрации CaCO_3 по сечению бетона опровергает мнение, что процесс взаимодействия CO_2 воздуха с цементным камнем происходит в узкой (переходной) зоне, перемещающейся вглубь бетона [42], и показывает, что карбонизация (изменение показателя КС) по сечению бетона распространяется не линейно, а по сложной экспоненциальной зависимости. В любых условиях эксплуатации снижение содержания CaCO_3 по глубине залегания бетона сопровождается резким повышением показателя pH поровой влаги. При достижении значений $\text{КС} = \text{const}$ и $\text{pH} \geq 11,8$ цементный камень сохраняет защитные свойства по отношению к стальной арматуре. Эта область лежит выше линии «А» (см. рисунки 1–3), нижняя граница которой соответствует значению $\text{pH} = 11,8$. Между линиями «А» и «Б» в интервале $\text{pH} = 11,8 \dots 10,3$ располагается зона неопределенного состояния стальной арматуры в бетоне.

Приведенные зависимости (см. рисунки 1–3) указывают на значительную разницу при определении толщины прокарбонизированного слоя бетона методом pH-метрии. При определении толщины нейтрализованного бетона $\text{pH}_{\text{ффт}}$ результаты по сравнению с $\text{pH}_{\text{тр}}$ получаются заниженными от 2,5 до 6,5 раз.

Получено 28.12.2019

A. A. Vasilyev. Study of different methods of distribution of physical and chemical indices of concrete indicators along the section of reinforced concrete elements.

The results of multi-year studies of carbonization along the cross-section of concrete of different classes on compression strength of columns operating in different atmospheric conditions are given. Analysis of concrete protective properties condition with respect to steel reinforcement by various methods was performed.

Заключение. Выполненный различными методами pH-метрии анализ оценки состояния защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре по сечению колонн показал, что использование ФФТ не позволяет объективно оценивать и тем более прогнозировать карбонизацию бетона и ее влияние на состояние защитных свойств бетона.

Список литературы

- 1 Васильев, А. А. Карбонизация и оценка поврежденности железобетонных конструкций : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 263 с.
- 2 Кудрявцев И. А. Исследование карбонизации железобетонных конструкций с длительным сроком эксплуатации / И. А. Кудрявцев, В. П. Богданов // Материалы, технологии, инструменты. – 2000. – Т. 5, № 3. – С. 97–100.
- 3 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.
- 4 Васильев, А. А. Оценка и прогнозирование технического состояния железобетонных конструкций с учетом карбонизации бетона : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 215 с.

УДК 624.21.095.4(047)

П. В. КОВТУН, кандидат технических наук, К. С. РАЗВОДОВ, магистрант, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ПОДБОР СОСТАВА БЕТОННОЙ СМЕСИ И ВЫБОР ПРОПИТКИ ДЛЯ СВЕТОПРОВОДЯЩЕГО БЕТОНА

Проанализированы виды оптического волокна и способы распределения в них светового потока. Подобраны составы светопроводящего мелкозернистого бетона, проведены опытные замесы и получены образцы светопроводящего бетона. Проанализированы результаты прочности на сжатие и растяжение при изгибе образцов с применением и без применения оптического волокна с целью определения снижения или повышения данных характеристик.

Введение. Светопроводящий бетон впервые был создан венгерским архитектором Ароном Лосконши в 2002 году. Задумавшись над тем, как добавить в помещения из бетона солнечного света, при этом не нарушив прочности конструкции, он пришел к идее модификации внутреннего строения бетона. Добавив в состав бетонной смеси светопроводящее оптическое волокно, Лосконши получил внешне привлекательные блоки, полностью соответствующие эксплуатационным характеристикам искусственного камня. Новый строительный материал он назвал *литраконом*, оттолкнувшись от словосочетания *light transmitting concrete*, дословно переводящегося как *светопроводящий бетон*.

Светопроводящий бетон впервые использовался по своему прямому назначению при строительстве в 2005 году особняка в стиле hi-tech, спроектированного коллегой Лосконши из Германии Юргеном Ломаном. Именно этот пример и продемонстрировал все качества, присущие новейшему строительному материалу. Другим сооружением, при строительстве которого был использован этот вид бетона, стало центральное здание автомобильного завода BMW г. Лейпцигске, созданное известным архитектором Захой Хадид, ставшей впоследствии обладателем Немецкой архитектурной премии.

Высокая стоимость материала пока не позволяет довольно широко применять его в строительстве зданий в промышленных масштабах, однако с увеличением производства оптического волокна (самого дорогого компонента светопроводящего бетона) и поиском новых технологий, снижающих стоимость его производства, закономерно ожидается падение цен на данный вид сырья.

Одной из сфер применения данного материала может стать дорожное (железнодорожное) и мостовое строительство, а также благоустройство приобъектных территорий (тротуары, лестницы) в части повышения их интерактивности в темное время суток.

Основная часть. Для определения вида используемого оптического волокна было применено оптическое волокно торцевого и бокового свечения. Разность распределения светового потока обусловлена разными химическими составами оптического волокна. Так, оптическое волокно торцевого свечения проводит световой поток без потерь на расстояние до нескольких десятков метров, в то время как оптическое волокно бокового свечения теряет значительную часть светового потока уже на расстоянии в несколько метров от источника света (рисунок 1).

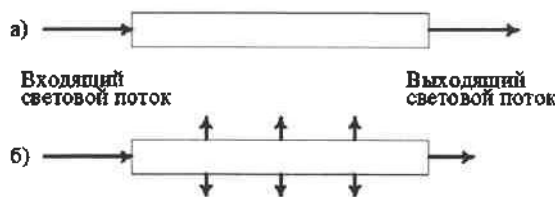


Рисунок 1 – Схема распределения светового потока в оптическом волокне:
а – торцевого свечения; б – бокового свечения

Однако в условиях бетонных изделий для дорожного и мостового строительства, где максимальная толщина слоя светопроводящего бетона составит 15 см (для камня бортового БР 100.30.15, выпускаемого по СТБ 1097–2012), и отсутствии потерь светового потока в теле бетона у волокна бокового свечения для производства допустимо использовать оба вида оптического волокна.

Поскольку состав оптического волокна неизвестен, то необходимо провести анализ химического взаимодействия с компонентами планируемой бетонной смеси: добавкой-пластификатором Хидетал ГП-9а (альфа) на основе поликарбоксилатов и пропиткой для поверхности бетонов Сифтор Б. При температуре производственной среды 20 °С время воздействия химической добавки на оптическое волокно (до завершения процесса схватывания бетонной смеси) не превысит 12 часов. При обработке концентратом пропитки время полного высыхания составляет 4 часа. В связи с этим оптическое волокно каждого вида было помещено в раствор добавки-пластификатора и концентрата пропитки для бетонов на 12 часов. В результате выявлено полное отсутствие химического взаимодействия оптического волокна с данными химическими веществами. На боковой и торцевой поверхности отсутствуют разрушения целостности поверхностного слоя, цвет не изменен. Таким образом, данные химические вещества можно использовать для производства светопроводящего бетона.

Для изготовления экспериментальных образцов в соответствии с СТБ 1182–99 было подобрано три состава бетонной смеси и произведены на их основе опытные лабораторные замесы для получения наилучших свойств при наименьшей стоимости.

Для бетонной смеси были использованы следующие инертные материалы (таблица 1):

- песок крупнозернистый (карьер Боруны);
- песок мелкозернистый (карьер УПТК Гомельского горисполкома);
- щебень фракции 5–10 мм (РУПП «Гранит»).

Для получения марок бетона по прочности на сжатие 300–400 наиболее рационально использовать бездобавочный портландцемент марки ПЦ500 Д0.

Таблица 1 – Расход материалов на 1 м³ бетонной смеси
В килограммах

Материал	Номер пробного состава		
	1	2	3
Цемент	595	730	405
Песок (Боруны)	1425	–	–
Песок (УПТК)	–	1290	765
Щебень фр. 5–10 мм	–	–	1045
Вода	180	200	150
Химическая добавка	3,85	4,75	2,45
Оптическое волокно	8,6	8,6	8,6

Для изготовления светопроводящего бетона щебень фракции крупнее 10 мм не применяется в связи с небольшой прослойкой бетона между слоями оптического волокна. Оптическое волокно будет располагаться послойно на расстоянии 1,5–2 см. Также неприменимость щебня крупнее 10 мм связана с тем, что при вибрации в процессе изготовления изделий он будет оседать (стремиться ко дну формы), попутно продавливая и изменяя положение и рядность оптического волокна, тем самым нарушая его ориентированность, что повлияет на распределение света по рабочей грани изделия и прочностные свойства.

Для исследования прочности на сжатие светопроводящего бетона с послойным расположением оптического волокна в теле бетона используются образцы-кубы размером 100×100×100 мм, изготовленные по каждому из трех составов. В связи с тем, что применение оптического волокна является аналогом армирования, а разрушающая нагрузка ожидаемо должна быть выше, то принимаются схемы армирования образцов, приведенные на рисунке 2.

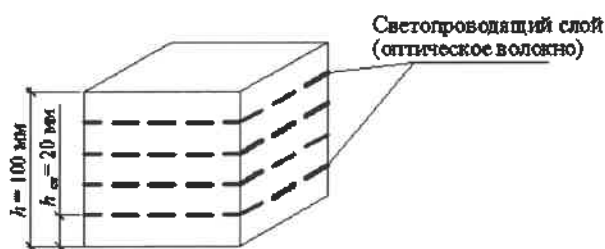


Рисунок 2 – Схема армирования образцов-кубов 100×100×100 мм

Далее производятся лабораторные замесы по разработанным составам. Объем лабораторного замеса принимается равным объему изготавливаемых образцов с коэффициентом 1,2 в соответствии с ГОСТ 10180–2012. Количество образцов в серии принимается равным 6. По каждому составу изготавливается серия образцов, армированных оптическим волокном, и серия образцов без оптического волокна. Объем бетонной смеси, необходимый для получения серии образцов

$$V_c = 1,2abln, \quad (1)$$

где 1,2 – коэффициент, увеличивающий объем пробы бетонной смеси для изготовления контрольных образцов; a , b – размеры поперечного сечения образца, м; l – длина образца, м; n – количество образцов в серии, шт.

Таким образом, объем бетонной смеси для лабораторного замеса по одному составу

$$V_{\text{сост}} = 2V_c, \quad (2)$$

где 2 – количество серий образцов для данного состава.

Для образцов кубов 100×100×100 мм количество бетонной смеси на изготовление одной серии образцов

$$V_c = 1,2 \cdot 0,1 \cdot 0,1 \cdot 0,1 \cdot 6 = 0,0072 \text{ м}^3,$$

а объем лабораторного замеса по одному составу

$$V_c = 2 \cdot 0,0072 = 0,0144 \text{ м}^3.$$

Для исключения налипания бетонной смеси на поверхности формы используется смазка для форм или машинное масло, нанесенное на поверхность тонким слоем. В подготовленную смазанную форму укладывается и распределяется бетонная смесь толщиной 20 мм. Смесь тщательно штыкуется 10 раз, после чего на поверхность уплотненной бетонной смеси раскладывается оптическое волокно с интервалом 4–5 мм. При этом волокна слегка утапливаются в выступившем цементном молоке во избежание их смещения при укладке следующих 20 мм бетонной смеси. Схема раскладки оптического волокна приведена на рисунке 3.



Рисунок 3 – Схема раскладки оптического волокна в светопроводящем слое (вид сверху) образцов-кубов 100×100×100 мм

Далее форма снова заполняется бетонной смесью на толщину 20 мм. Смесь опять тщательно штыкуется 10 раз, но только на толщину чуть менее толщины слоя уложенной бетонной смеси, поскольку при проникновении штыковки в светопроводящий и ранее уложенный слой ориентированность волокон может быть нарушена. Далее процесс повторяется. После четвертого светопроводящего слоя форма заполняется полностью, штыкуется на толщину слоя до выступления цементного молока и выравнивания поверхности, после чего образец маркируется.

Изготовленные образцы помещаются в нормальные условия с температурой воздуха в помещении $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ и относительной влажностью $W_{\text{отн}} = 95 \%$. Образцы расплубливаются через двое суток. Испытания по показателям прочности на сжатие проводятся на 7-е сутки.

Также в ходе проведения лабораторных замесов необходимо отметить низкую технологичность состава № 2. В связи с отсутствием зерен крупнее 2,5 мм бетонная смесь практически не уплотняется, оптические во-

локна не удерживаются на поверхности ранее уложенного и уплотненного слоя бетонной смеси и смешиваются при заполнении формы следующим слоем бетонной смеси.

Испытания бетона проводятся по способу приложения нагрузки в двух направлениях волокон: нормально уложенным слоям и параллельно уложенным слоям для оценки влияния на прочность направленности волокон (рисунок 4).

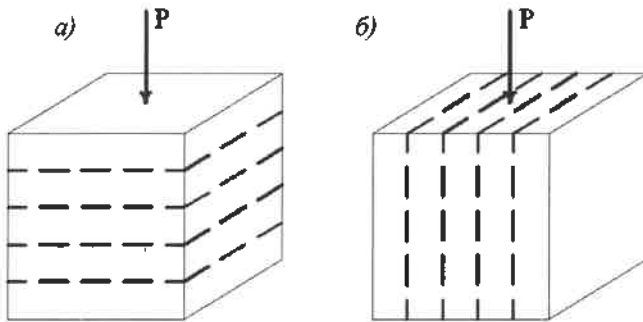


Рисунок 4 – Способы приложения нагрузки при испытании прочности бетона:
а – нагрузки нормально уложенным слоям;
б – параллельно уложенным слоям

Результаты испытания бетона по показателям прочности на сжатие и прочности на растяжение при изгибе представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты испытания бетона по показателям прочности на сжатие (В) на 7-е сутки, МПа

Показатель	Номер пробного состава					
	1		2		3	
	С оптическим волокном	Без оптического волокна	С оптическим волокном	Без оптического волокна	С оптическим волокном	Без оптического волокна
В (при приложении нагрузки нормально уложенным слоям)	43,5	40,4	34,8	32,4	31,5	29,6
В (при приложении нагрузки параллельно уложенным слоям)	23,4	37,1	21,4	26,8	20,9	25,1

По результатам испытаний прочности бетона на сжатие, представленным в таблице 2, можно сделать вывод, что расположение волокон параллельно прикладываемой нагрузке недопустимо в связи со снижением прочности на 30–40 %. Поэтому для конструкций из светопроводящего бетона необходимо предусматривать направление волокон под углом как можно более близким к 90° по отношению к направлению прикладываемой нагрузки, что повышает прочность на сжатие на 7,1 %.

График темпа набора прочности бетона представлен на рисунке 5.

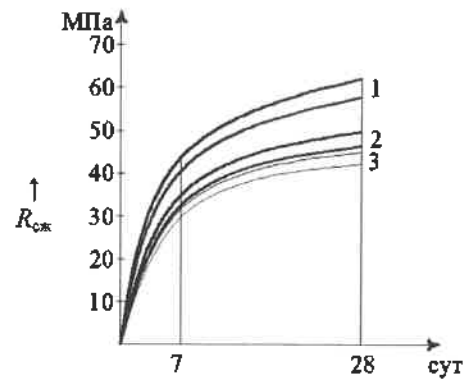


Рисунок 5 – График темпа набора прочности бетона на сжатие (образцы, изготовленные с применением оптического волокна; образцы, изготовленные без применения оптического волокна); 1, 2, 3 – номера состава

В дальнейшем был проведен анализ стоимости бетона по каждому составу. Стоимость сырья приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Стоимость сырья и расчет стоимости 1 м³ бетонной смеси

Материал	Цена за 1 т (1 м.п.)	Номер пробного состава					
		1		2		3	
		Кол-во, т (м.п.)	Цена на состав	Кол-во, т (м.п.)	Цена на состав	Кол-во, т (м.п.)	Цена на состав
Цемент	114,7	0,595	68,25	0,73	83,73	0,405	46,1
Песок (Боруны)	9,29	1,425	13,24	–	–	–	–
Песок (УПТК)	4	–	–	1,290	5,16	0,765	3,06
Щебень фр. 5–10 мм	14,93	–	–	–	–	1,045	15,6
Вода	0,8	0,180	0,14	0,2	0,16	0,15	0,12
Химическая добавка	1750	0,00385	6,73	0,00475	8,31	0,00245	4,28
Оптическое волокно	0,43	799,6	343,83	799,6	343,83	799,6	343,83
Итоговая стоимость (за 1 м³ бетонной смеси)		432,19		441,19		412,99	

На основании анализа стоимости и технологичности смеси, а также наибольших значений прочности для дальнейшей работы будет принят состав № 1.

Для работы светопроводящего бетона в условиях воздействия раствора соли в воде и соляного тумана необходимо предусмотреть пропитку для поверхности бетона с целью предотвращения разрушения при работе в условиях агрессивной среды (класс XF4), особенно на границе оптическое волокно – бетон. Сегодня в Беларуси успешно зарекомендовала себя пропитка Сифтор Б. Она активно применяется в обработке железобетонных parapetных ограждений на автомобильных дорогах республики.

Перспективность светопроводящего бетона в дорожном строительстве связана с повышением в последние годы интереса к устройству цементобетонных покрытий автомобильных дорог. Материал делает возможным дублирование в темное время суток элементов дорожной разметки на опасных участках дорог с жестким покрытием без разрыва среды материала, что облегчит уход за ним в зимнее время.

При создании инновационных пешеходных переходов (оборудованных интерактивными полосами, дублирующими сигнал светофора для пешеходов) применение светопроводящего бетона позволит повысить антивандальность инженерного обустройства. В отличие от полимерных материалов, литракон не изменяет своих свойств под действием высоких температур, не подвержен мгновенному нарушению целостности и потере свойств поверхности при механических воздействиях.

Для повышения архитектурной привлекательности и снижения травмоопасности светопроводящий бетон можно применять на кромках ступеней лестничных маршей. На въездах на мосты и путепроводы, а также на нижних уровнях развязок элементы вертикальной разметки из светопроводящего бетона составят конкуренцию элементам вертикальной разметки из металла, которые для предотвращения воздействия агрессивной среды необходимо подвергать горячему цинкованию или окрашиванию эмалями. При нарушении защитного покрытия элементы вертикальной разметки из металла

и их крепления корродируют, передавая коррозию вглубь бетонных балок, колонн, на которых они закреплены.

Выводы.

1 Оптическое волокно не взаимодействует с химическими веществами, входящими в состав бетонной смеси.

2 Оптическое волокно при расположении под углом, близким к 90° к направлению действия нагрузки, повышает прочность изделий, выполняя в них роль армирующего элемента.

3 Предложенный состав № 1 соответствует по показателям прочности на сжатие (B) и прочности на растяжение при изгибе ($B_{\text{из}}$) требованиям к изделиям, используемым в дорожном строительстве, для которых можно применить светопроводящий бетон.

Список литературы

1 ГОСТ 10180–2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – Минск : Госстандарт, 2015. – 36 с.

2 СТБ 1182–99. Бетоны. Правила подбора состава. – Минск : Госстандарт, 2000. – 16 с.

3 СТБ 2221–2011. Бетоны конструкционные тяжелые для транспортного и гидротехнического строительства. Технические условия. – Минск : Госстандарт, 2012. – 30 с.

4 СТБ 1097–2012. Камни бетонные и железобетонные. Технические условия. – Минск : Госстандарт, 2008. – 18 с.

5 СТБ 1545–2005. Смеси бетонные. Методы испытаний. – Минск : Минстройархитектуры, 2005. – 24 с.

Получено 30.09.2019

P. U. Koutun, K. S. Razvodov. Selection of a concrete mixture and selection of the optimal impregnation for light-conductive concrete.

The types of optical fiber and methods of distribution of the light flux in them are analyzed. Compositions of light-conducting fine-grained concrete were selected, experimental batchings were carried out and samples of light-conducting concrete were obtained. The results of the compressive and tensile strength in bending of the samples with and without the use of optical fiber are analyzed in order to determine the decrease or increase in these characteristics.

УДК 551.332.53:624.131.54

Е. Ю. ТРАЦЕВСКАЯ, кандидат геолого-минералогических наук, Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Республика Беларусь

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ АВТОТРАНСПОРТНОГО ВИБРОДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МАССИВЫ ГРУНТОВ

Проведены полевые исследования вибродинамического воздействия, генерированного автотранспортным потоком, на грунтовой массив. Установлены параметры вертикальной составляющей поверхностных волн: частота, амплитуды виброперемещений и виброскоростей. Показано, что виброускорения, возникающие в грунте, меньше $0,0014 g$. Следовательно, автотранспортное вибрационное воздействие не превышает порога опасности надежной работы сооружений, расположенных вблизи транспортных магистралей. Тем не менее напряженное состояние массивов грунтов, вызванное движением автотранспорта, может обусловить их «усталостное» разрушение. Отмечено, что при расчете амплитуд вертикальных колебаний необходимо учитывать особенности состава и свойств грунтов.

Любой вид транспорта является источником колебаний, передающихся через грунтовую среду на расположенные вблизи транспортных магистралей сооружения и вызывающих вибрацию, которая сказывается как на техническом состоянии зданий, так и на санитарно-гигиенических условиях пребывания в них людей.

Впервые негативные последствия вибрации от городского транспорта на состояние зданий были отмечены в конце 60-х – начале 70-х гг. прошлого века в период резкого увеличения числа транспортных средств и роста магистральных нагрузок. По некоторым данным, осредненные радиусы негативного действия транспортной вибрации на основания зданий составляют от движения автотранспорта примерно 12–15 м, трамваев – 50 м, поездов – 100–150 м [4]. Дополнительные осадки оснований в зависимости от видов грунтов, их состояния и интенсивности вибрации достигают 50–200 мм, носят, как правило, неравномерный характер, и их развитие соизмеримо с периодом эксплуатации объекта. Отмечены случаи, когда здания наклонялись в сторону проезжей части, а незатухающие во времени и возрастающие по величине осадки оснований вынуждали полностью закрывать улицы для движения транспорта [4].

Вибрационное поле, создаваемое автомобильным транспортом, формируется как самим подвижным составом, так и качеством и состоянием определенных элементов дороги. Интенсивность динамических воздействий зависит от вертикальных колебаний ходовой части автомобиля при значительных скоростях движения, от типа и изношенности шин и т. д. Удары возникают вследствие неровностей дорожного покрытия (сдвиги слоев асфальтобетонного покрытия, смещение плит цементобетонного покрытия, волны, выбоины, просадки нежесткой дорожной одежды, наличие колеи и др.), при переезде через крышки колодцев, люки подземных сетей [4]. Удары увеличивают действие статической нагрузки от веса подвижного состава (автомобильного транспорта). Частые толчки, создаваемые движущимся транспортом, приводят к сотрясениям дорожного полотна, которые передаются грунтовому основанию. Динамическое воздействие увеличивается в случае попадания колебаний в резонансную зону системы «движущийся автомобиль – дорога – грунтовое основание».

К основным параметрам динамического воздействия относятся длительность и критическое ускорение; кроме того, учитывается характер взаимодействия соору-

жения с грунтовым основанием. По продолжительности, изменению во времени, интенсивности и частотному составу – динамические воздействия от транспортного движения существенно отличаются как друг от друга, так и от других типов техногенных воздействий, что дает основание рассматривать их как самостоятельный класс внешних усилий.

Транспортный каркас г. Гомеля представляет собой разветвленную систему обычных автомобильных дорог общего назначения категории Iв–V, расчетная интенсивность движения по которым уменьшается от >10000 до 200 ед./сут. Автомобильный трафик, включающий в себя автобусное и троллейбусное движение, является неопределенным (по сравнению, например, с железнодорожным). Характерным для него является только постепенное нарастание в начале дня и убывание в конце. Транспортная вибрация в развитой своей части является типичным случайным стационарным процессом [2].

Так как уровень вибрации, создаваемой автомобильным транспортом на городских магистралях, дБ, находится в прямой зависимости от интенсивности транспортного потока, то его можно рассчитать [6]:

$$A_v = 21,51N^{-0,13}, \quad (1)$$

где N – интенсивность транспортного потока, трансп. ед./ч.

Как известно [2, 9], частотный состав вибрации является практически независимым от расстояния. Наибольшие амплитуды реализуются в момент прохождения автотранспорта в направлении перпендикулярном дороге. Перемещения по вертикальной составляющей A_z имеют монотонно убывающий характер и, с одной стороны, могут быть представлены эмпирическими зависимостями, полученными при изучении динамики различных инженерных объектов в определенных инженерно-геологических условиях. Например [2]:

$$A_z = 9,23 \exp(-0,06r), \quad (2)$$

$$A_z = 9,23 \exp(-0,061r), \quad (3)$$

где r – расстояния от оси движения до точки измерения при начальных расстояниях 8,3 и 7,8 м соответственно.

С другой стороны, в действующем нормативном документе Беларуси [9] амплитуды вертикальных колебаний грунта ($A_{гв}$) при вертикальных вибрациях машин, т. е. источника вибрационных волн в грунте (A_s), рекомендуется рассчитывать по формуле:

$$A_{\text{пр}} = A_s \left[\frac{1}{\delta \cdot [(\delta - 1)^2]} + \frac{\delta^2 - 1}{\delta \cdot (\delta^2 + 1) \cdot \sqrt{3} \cdot \delta} \right], \quad (4)$$

где δ – относительное расстояние от оси фундамента до рассматриваемой точки на поверхности грунта,

$$\delta = \frac{\hat{r}}{r_0}, \quad (5)$$

\hat{r} – расстояние от оси фундамента для рассматриваемой точки на поверхности грунта, м; r_0 – приведенный радиус подошвы фундамента.

Следует обратить внимание на то, что несколько ранее [8] значение амплитуд смещения колебаний грунта ($A_{\text{пр}}$) рассчитывалось по аналогичной формуле для железнодорожного транспорта. Соответственно за A_s принималась амплитуда смещений непосредственно около земляного полотна (A_0), за \hat{r} – расстояние от оси железнодорожного пути, за r_0 – $\frac{1}{2}$ его ширины. Перемена понятий «источник вибрационных волн в грунте (A_s)» и «амплитуда смещений непосредственно около земляного полотна (A_0)» в формуле (4) имеет принципиальное значение, т. к. при передаче динамической нагрузки на реальный грунт в нем возникают ускорения, отличающиеся от ускорений, передающихся источником воздействий и существенно меняются в начале приложения нагрузки [10]. В случае транспортных вибраций дело усугубляется тем, что вибрационное поле формируется как подвижным составом, так и состоянием дорог.

Рост всех видов грузопотоков, увеличение скорости и интенсивности движения транспорта, реконструкция (расширение) автодорог обуславливают необходимость получения качественных и количественных оценок трансформации транспортной вибрации в геологической среде. С одной стороны, несущая способность грунтов оснований фундаментов инженерных сооружений может меняться, например, из-за не учтенных динамических воздействий, развития подтопления и других факторов техногенного воздействия [14–17], а с другой – массив грунта является средой, в которой распространяются генерируемые транспортом колебания, и от свойств этой среды зависит интенсивность воздействия транспортной вибрации на инженерные сооружения. Поведение грунтов при вибродинамических нагрузках определяется плотностью их сложения, влаж-

ностью, начальным статическим напряженным состоянием.

Нами были проведены полевые исследования вибрации в грунтовом массиве, генерированные автотранспортным потоком. Площадка исследований находилась на окружной дороге Киев – С.-Петербург около деревни Цыкуны в Гомельском районе. Изучение параметров и характера распространения вертикальной составляющей поверхностных волн осуществлялось при регистрации колебательного процесса с помощью ВИП-2 с записью на шлейфовый осциллограф. На площадке измерения проводились в 12 шурфах глубиной 1,5 м от дневной поверхности каждый. Шурфы были сгруппированы в четыре ряда, перпендикулярных дороге, по три в каждом. Расстояние между рядами – 26,0; 11,6 и 14,7 м. В рядах: первая линия – непосредственно у дороги, вторая – на расстоянии 11,0 м, третья – 24,0 м от дороги. Поверхностные отложения представлены песком аллювиальным светло-желтым мелкозернистым однородным средней плотности маловлажным с плотностью частиц $\rho_s = 2,62 \dots 2,70 \text{ г/см}^3$, плотностью $\rho = 1,50 \dots 1,66 \text{ г/см}^3$; природной влажностью $W = 0,02 \dots 0,07$; коэффициентом пористости $e = 0,66 \dots 0,86$ и степенью влажности $S_r = 0,07 \dots 0,22$.

По данным, полученным автором, а также источников других исследователей [2, 3, 5] экспериментально установленные параметры вертикальной составляющей поверхностных волн при вибродинамических воздействий приведены в таблице 1. Таким образом, максимальное значение амплитуды вертикальной составляющей виброперемещений (A_z) составляет 4,2 мкм при диапазоне частот $f = 15 \dots 25 \text{ Гц}$.

При подстановке значений $A_z = 2,5 \text{ мкм}$ и $f = 20 \dots 40 \text{ Гц}$ (см. таблицу 1) в формулу (1) значения амплитуд A_2 на расстоянии 25 м от дороги составит 0,0117 мкм, скоростей $A_v = 0,0002 \dots 0,0005 \text{ мм/с}$. По нашим данным, средние амплитуды колебаний вертикальной составляющей скоростей волнового поля, замеренные на расстоянии 25 м от трассы, больше по сравнению с приведенными в таблице 1 и равны 0,0034–0,0280 мм/с, соответственно максимальные значения амплитуд перемещений – 0,17–1,40 мкм.

Таблица – Параметры вертикальной составляющей поверхностных волн при вибродинамических автотранспортных воздействиях

Показатель	Значения				
	Е. К. Борисов [2]	А. Д. Жигалин [3]	Г. П. Локшин [5]	Для г. Гомеля	Авторские
Частота f , Гц	16,2	3–5; 60–70; 20 (пиковые)	15–38	–	20–40
Амплитуды: виброперемещений A_z , мкм виброскоростей A_v , мм/с виброускорений, A_a , м/с ²	4,2	–	3,8	–	2,5
	2,68	–	0,31–0,36	2,23–2,61	0,014–0,050
	0,044	–	0,009–0,014	–	$(0,28 \rightarrow 2,00) \cdot 10^{-3}$
Условия проведения экспериментов	При движении автобусов, троллейбусов, грузового автотранспорта (грузевый КамАЗ) в обоих направлениях и в различном сочетании по удаленной и по ближней полосам в городской черте, максимальные значения	При движении транспорта по улицам города	–	Рассчитанные по формуле (1)	Непосредственно у трассы

Примечание – Цветом выделены рассчитанные значения.

Существенные отличия в значениях, полученных расчетным и экспериментальным способами, возможно, объясняются тем, что при использовании формулы (1) не учитываются особенности состава и свойств грунтов. Между тем демпфирующие свойства грунтов при вибродинамических нагрузках являются величинами переменными, зависящими от характера структурных связей и их переходов, а также параметров вынужденных колебаний.

При виброуплотнении неводонасыщенного песчано-глинистого грунта В. А. Флоринным выделены три стадии [18]:

I – момент приложения динамической нагрузки;

II – изменение напряженного состояния, грунт находится в нестабильном состоянии, разрушается и вновь восстанавливается его структура, происходят упруго-пластические деформации грунта, его уплотнение;

III – напряженное состояние практически не меняется во времени, грунт находится в метастабильном состоянии (конечно-напряженное состояние).

Дальнейшее уплотнение грунта возможно при увеличении интенсивности вибродинамического воздействия и (или) при изменении показателей состояния и физических свойств грунтового массива [11].

Как известно, еще в 1948 году Д. Д. Барканом было установлено, что разрушение структуры и уплотнение грунта определяется не по отдельности величинами амплитуды или частоты колебаний, а зависит от ускорения колебаний, которое характеризует интенсивность силового воздействия при вибрации [1]. В результате экспериментальных работ [7] было установлено, что каждой величине начального коэффициента пористости соответствует своя величина критического ускорения, при достижении которой начинается разрушение структур и уплотнение грунта; с уменьшением начального коэффициента пористости критическое ускорение увеличивается.

Диапазон значений критических ускорений (при переходе от первой ко второй стадии) в различных источниках существенно отличается от $a > 0,1g \div 0,15g$ [3] до $0,7g < a < 1,5g$ [19]. При ускорениях $a \approx 1,5g$ или $a = 0,6g \div 5,0g$ происходит разрушение, а в водонасыщенных грунтах – разжижение.

В ТКП 45-5.01-264-2012 [9] максимальная величина на критического ускорения $a_{кр} = 0,07g$ принята для глины (показатель текучести $I_L = 0$) при работе технологического оборудования. Для автомобильного транспорта $a_{кр}$ изменяется от $0,06g$ до $0,006g$ при изменении I_L от $0,0$ до $0,9$ для пылевато-глинистых грунтов.

По нашим данным, полученным в лабораторных условиях по методике, описанной в [10, 11] для трехфазных пылевато-глинистых грунтов, $a_{кр} \leq 0,76g$. По данным полевых исследований как опубликованных [2], так и авторских, виброускорения, возникающие в грунте при движении автотранспорта, меньше $0,0014g$.

Таким образом, автотранспортное вибрационное воздействие не превышает порога опасности надежной работы инженерных сооружений. Но напряженное состояние массивов грунтов, вызываемое автотранспортными вибродинамическими нагрузками, может

обусловить их «усталостное» разрушение. Поэтому даже относительно слабые вибрации могут приводить к серьезным негативным последствиям и их необходимо учитывать при проектировании различных объектов, расположенных вблизи транспортных магистралей.

Выводы

1 При расчете амплитуд вертикальных колебаний грунта в точках, расположенных на различном удалении от источника, необходимо учитывать особенности состава и свойств грунтов. Разница между расчетными и экспериментальными данными, по нашим оценкам, может быть более 100 %.

2 Большой разброс значений критических ускорений по данным различных авторов можно объяснить тем, что значения указываются без учета особенностей грунтовых условий (тип грунта, нарушенное или естественное сложение, условия определения показателя, например, полевые – лабораторные, наличие статической пригрузки) и т. д.

Список литературы

- 1 Баркан, Д. Д. Динамика оснований и фундаментов / Д. Д. Баркан. – М. : Стройвоенмориздат, 1948. – 411 с.
- 2 Экспериментальная динамика сооружений. Мониторинг транспортной вибрации / Е. К. Борисов [и др.]. – Петропавловск-Камчатский, 2007. – 128 с.
- 3 Жигалин, А. Д. Техногенное вибрационное воздействие на геологическую среду / А. Д. Жигалин, Г. П. Локшин // Инж. геология. – 1987. – № 3. – С. 86–92.
- 4 Содержание и ремонт автомобильных дорог / С. Е. Кравченко [и др.]. – Минск : БНТУ, 2013. – 240 с.
- 5 Оценка вибрационного воздействия на территории города (на примере Москвы и Братиславы) / Г. П. Локшин [и др.] // Инж. геология. – 1991. – № 4. – С. 82–91.
- 6 Москва. Город и геология / под ред. В. И. Осипова, О. П. Медведева. – М., 1997. – 399 с.
- 7 Савинов, О. А. Современные конструкции фундаментов под машины и их расчет / О. А. Савинов. – Л. : Стройиздат, 1979. – 200 с.
- 8 СНиП 2.02.01–87. Фундаменты машин с динамическими нагрузками. – М. : Стройиздат, 1986. – 82 с.
- 9 Технический кодекс установившейся практики (ТКП) 45-5.01-264-2012 (02250) Основания и фундаменты зданий и сооружений. Фундаменты при вибродинамических воздействиях. Правила проектирования. – Минск : М-во архит. и строительства Респ. Беларусь, 2013. – 114 с.
- 10 Трацевская, Е. Ю. Динамическая неустойчивость квазитрехфазных моренных грунтов / Е. Ю. Трацевская // Литосфера. – 2017. – № 1 (46). – С. 107–111.
- 11 Трацевская, Е. Ю. Экспериментальное исследование динамических характеристик неустойчивости трехфазных грунтов / Е. Ю. Трацевская // Математическое моделирование, компьютерный и натурный эксперимент в естественных науках. – 2017. – № 2. – С. 57–64.
- 12 Трацевская, Е. Ю. К вопросу о деформационных свойствах трехфазных слабосвязных грунтов в условиях динамического нагружения / Е. Ю. Трацевская // Актуальные вопросы инженерной геологии, гидрогеологии и рационального недропользования. IX Университетские геологические чтения. – Минск : Изд. центр БГУ. – 2015. – С. 146–149.
- 13 Трацевская, Е. Ю. Закономерности развития суффозионно-просадочных явлений на территории Белоруссии /

Е. Ю. Трацевская, А. Н. Галкин // Инженерная геология массивов лессовых пород : труды Междунар. науч. конф. / под ред. В. Т. Трофимова, В. А. Королева. – М., 2004. – С. 108–109.

14 Трацевская, Е. Ю. Геологическая опасность развития подтопления грунтов и оценка экономических рисков при ее реализации / Е. Ю. Трацевская // Природные ресурсы. – 2009. – № 1. – С. 102–109.

15 Трацевская, Е. Ю. Особенности формирования техногенного подтопления дисперсных грунтов / Е. Ю. Трацевская // Природные ресурсы. – 2008. – № 2. – С. 106–112.

16 Трацевская, Е. Ю. Влияние развития техногенного подтопления в дисперсных грунтах на надежность системы

«основание – фундамент – здание» // Е. Ю. Трацевская // Экология урбанизированных территорий. – 2011. – № 2. – С. 71–76.

17 Трацевская, Е. Ю. Особенности тектоники территории г. Гомеля в связи с оценкой устойчивости геологической среды / Е. Ю. Трацевская, А. Н. Галкин, И.А. Красовская // Литасфера. – 2003. – № 1 (18). – С. 78–85.

18 Флорин, В. А. Теория уплотнения земляных масс / В. А. Флорин. – М. : Стройиздат, 1948. – 284 с.

19 Ridger, A. A. A study of vibratory driving in granular soils // A. A. Ridger, G. S. Littlejohn // Gtotechnique. – 1980. – Vol. XXX, № 3. – P. 269–293.

Получено 01.04.2020

E. Yu. Tratsevskaia. Experimental study of parameters of motor transport vibrodynamic impact on soil masses.

Field researches of vibrodynamic influence generated by a motor transport stream on a ground massif are carried out. The parameters of the vertical component of surface waves: frequency, amplitude of vibration displacements and vibration velocities are established. It is shown that the vibration accelerations occurring in the soil are less 0.0014 g. Therefore, road vibration impact does not exceed the danger threshold of reliable operation of structures located near highways. Nevertheless, the stressed state of soil masses caused by the movement of vehicles can cause their "fatigue" destruction. It is noted that when calculating the amplitudes of vertical oscillations, it is necessary to take into account the peculiarities of the composition and properties of soils.

УДК 539.3

А. А. ПОДДУБНЫЙ, кандидат физико-математических наук, О. А. ЕРМОЛОВИЧ, кандидат технических наук, К. В. ЕФИМЧИК, магистрант, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ДОРОЖНЫХ НАСТИЛОВ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИОЛЕФИНОВ И НЕФТЕШЛАМОВ

Предлагается изготовление элементов дорожных настилов из композиционных материалов на основе полиолефинов и нефтешламов с улучшенными технологическими, деформационно-прочностными и антикоррозионными характеристиками.

Введение. В настоящее время актуальной и глобальной является проблема организации грамотного использования твердых коммунальных отходов (далее – ТКО), вторичных материальных ресурсов (далее – ВМР) из состава ТКО, а также отходов нефтеперерабатывающей промышленности.

Применение нефти несоответствующего качества, отработанных нефтепродуктов и ВМР дает возможность не только существенно улучшить экологическую ситуацию в государстве, но и существенно повысить его экономический потенциал [1].

В Национальной стратегии по обращению с твердыми коммунальными отходами и вторичными материальными ресурсами в Республике Беларусь на период до 2035 года (далее – Национальная стратегия) определяется система целей, задач, принципов, приоритетов и направлений действий, которые должны реализовываться в нормативных правовых актах, актах органов местного самоуправления, государственных и отраслевых программах, региональных программах, инвестиционных проектах, направленных на создание и обеспечение экологически безопасного и экономически эффективного обращения с ТКО и ВМР из состава ТКО [2].

Обоснование научного исследования. Целью Национальной стратегии является определение основных направлений минимизации вредного воздействия ТКО на здоровье человека, окружающую среду и рациональное использование природных ресурсов путем предотвращения образования отходов и максимального возможного извлечения компонентов, содержащихся в отходах (органика, металлолом, бумага и картон, стекло, полимеры, текстиль, изношенные шины и другое), вовлечение их в хозяйственный оборот в качестве дополнительных источников сырья, материалов, полуфабрикатов, иных изделий или продуктов для производства товаров (продукции), выполнения работ, оказания услуг с внедрением современных технологий сбора, компостирования биологических отходов и энергетического использования ТКО в виде RDF-топлива, тепловой и электрической энергии.

Предметом наших исследований были выбраны отходы нефтеперерабатывающих предприятий, образующиеся при добыче, транспортировке и переработке нефти, а также полимерные материалы, полученные из ВМР. Количество таких отходов постоянно увеличивается в связи с возрастающими объемами производства, которые диктуются рынком потребления.

Цель работы – разработка материалов на основе полиолефинов из ВМР, образующегося в результате жизнедеятельности человека, применение жидких отходов нефтепродуктов без дополнительной переработки, в качестве наполнителя композиционных материалов с широким спектром их применения, решение ряда экономических, экологических, социальных проблем, проблем обороноспособности государства, проблем при возникновении чрезвычайных ситуаций, а также снижение дорогостоящих методов утилизации отходов нефтепродуктов [3].

Мы предлагаем технологию использования жидких отходов нефтепродуктов без дополнительной переработки, в качестве наполнителя полимерных материалов с широким спектром их применения.

Использование нефтесодержащих добавок в качестве наполнителей полимерных материалов может стать эффективным решением ряда экологических и социальных проблем, а также позволит частично снизить применение дорогостоящих методов утилизации [6].

Материалы и методы изготовления. Объектом исследования служили образцы, на основе смеси ПЭНД марки 277-03 (ГОСТ 16338). В качестве модификаторов полимерной матрицы использовали жидкие отходы нефти, образующиеся при добыче, содержание которых в опытных образцах составляло от 5 до 50 мас. %. Опытные образцы изготавливали методом горячего прессования в виде шестигранной плитки со стороной грани 280 мм и толщиной 30 мм.

Для производства изделий компоненты поместили в бункер агрегата плавления-нагревательного (далее – АПН), после чего двигатель приводил во вращение шнек, шнек постепенно перемешивал компоненты в нагретой емкости с постепенным изменением температуры до 185 ± 5 °С, на выходе агрегата АПН получили однородную горячую массу, которую поместили в пресс-форму, где прессовали с усилием 380 ± 1 т.

В октябре 2019 года образцы шестигранных плиток из разработанного материала были уложены на учебно-полевом центре УО «БелГУТ» в качестве дорожных настилов для проезда техники (рисунок 1).

Плитка из разработанного материала не деформируется при проезде загруженного автомобиля общей массой 9,5 тонн.

При условии изменения температуры за шесть месяцев от $+20$ °С до -20 °С материал зарекомендовал себя с положительной стороны, он не деформировался.



Рисунок 1 – Испытание шестигранной плитки нагрузкой автомобиля МАЗ-4371

Область применения композиционных материалов на основе полиолефинов и нефтешламов. Из разработанного материала возможно изготовление различного рода элементов как временных, так и постоянных дорожно-мостовых конструкций [4], обваловок, сборно-разборных нежилых зданий (сооружений), тротуарных дорожек, плит для хранения техники на открытых площадках, как замена бетонных плит, используемых в строительстве для укрепления русел, конусов и откосов насыпей малых и средних мостов и водопроводных путепроводов, в качестве неразрывающихся вставок на гидроэлектростанциях, в качестве береговых стен и настилов для возводимых водных причалов [5].

Свойства и характеристики изделий зависят от типа конструкции, наличия армирующих элементов, её габаритных размеров, а главное – от соблюдения технологии производства.

Одно из главных преимуществ разработанного материала – неподверженность коррозии и отсутствие необходимости в армировании.

В настоящее время нами рассчитан оптимальный размер элементов дорожного настила (мата), устанавливаемого на любую поверхность и собираемого с помощью замков в любую конфигурацию (рисунок 2).

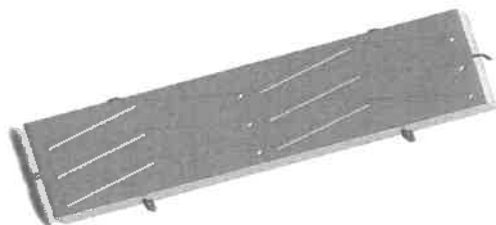


Рисунок 2 – Элемент дорожного настила

С данным замком возможно укладывать не только ровную колею, но и места разъезда техники, выполнять плавные повороты, укладывать пешеходные дорожки, площадки для хранения техники, настилов для оборудования палаточных лагерей в полевых условиях.

Данный дорожный настил возможно укладывать без использования специальной грузоподъемной техники на

Получено 11.05.2020

A. A. Poddubny, O. A. Yermalovich, K. V. Yefimchyk. Production of road flooring elements from composite materials based on polyolefins and oil sludge.

It is proposed to manufacture elements of road decking from composite materials based on polyolefins and oil sludge with improved technological, deformation-strength and anti-corrosion characteristics.

неподготовленную поверхность (погрузка, выгрузка и укладка производится вручную).

На верхней части настила имеются ребра противоскольжения для техники, в нижней части настила имеются квадратные углубления, для того чтобы настил не перемещался по поверхности земли.

Варианты укладки настила представлены на рисунке 3.

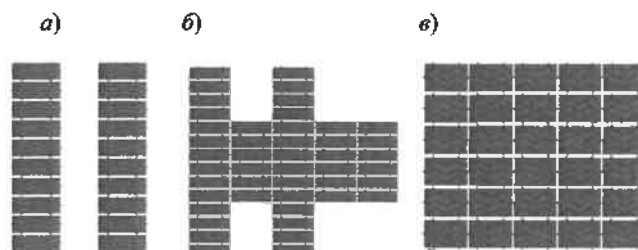


Рисунок 3 – Варианты укладки настила:
а – колея; б – место разъезда; в – площадка для хранения

Вывод. Разработанные элементы дорожных настилов на основе ПЭНД и нефтешламов сочетают в себе удовлетворительные физико-механические характеристики, обладают высокой антикоррозионной эффективностью и могут быть рекомендованы к промышленному производству.

Одновременно с изготовлением данных материалов выполняются требования главы государства по эффективной переработке вторичного сырья.

Список литературы

- 1 Функциональные композиционные материалы на основе полиолефинов и жидких отходов нефти / А. А. Поддубный [и др.] // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2019. – № 2 (39). – С. 33–36.
- 2 Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 28.07.2017 № 567 «Национальная стратегия по обращению с твердыми коммунальными отходами и вторичными материальными ресурсами в Республике Беларусь на период до 2035 года».
- 3 Указ Президента Республики Беларусь от 22 апреля 2015 г. № 166 «О приоритетных направлениях научно-технической деятельности в Республике Беларусь на 2016–2020 годы».
- 4 Поддубный, А. А. Мониторинг применения быстровозводимых мостов и переправ в Республике Беларусь / А. А. Поддубный, А. В. Яровая // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2018. – № 1 (36). – С. 130–133.
- 5 Поддубный, А. А. Методика расчета критической силы сжатого стержня, погруженного в упругое основание / А. А. Поддубный, В. А. Гордон // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2019. – № 1 (38). – С. 49–52.
- 6 Разработка композиционных материалов на основе смесей полиолефинов и отходов нефтепереработки / Ж. Н. Громыко [и др.] // Тезисы докладов Междунар. науч.-техн. конф.: ПОЛИКОМТРИБ-2019. – Гомель : ИММС НАН Беларуси, 2019. – С. 101.

УДК 621.181.27:662.9

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

ОЦЕНКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ КОЛЬЦЕВЫХ ПЛАСТИН ПРИ РАСЧЕТАХ ЖАРОТРУБНЫХ КОТЛОВ

Рассматривается методика расчета напряженно-деформированного состояния в плоских круглых пластинах. Предложенный алгоритм определения прогиба пластин и распределения внутренних напряжений позволяет давать практические инженерные рекомендации при выборе геометрических размеров трубных решеток и плоских днищ.

Цельносварные газоплотные жаротрубные котлы получили широкое распространение благодаря относительно несложной технологии изготовления и высокой эксплуатационной надежности. Их конструкция может иметь различную конфигурацию [1]. Разработка жаротрубных котлов включает несколько последовательных операций: предварительное проектирование, доводку и финишное проектирование [2]. На начальном этапе проектирования выполняется поверочный тепловой расчет котла с элементами конструктивного расчета отдельных поверхностей нагрева [3]. Затем в соответствии с РД 10-249-98 [4] выбираются основные размеры трубных решеток (днищ), жаровых труб, огневых поворотных камер, дымогарных труб, днищ и деталей укрепления котлов. Далее уточняются расстояния между укрепляющими элементами трубной решетки. При этом учитываются два основных нагружающих фактора: действие внутреннего давления на незакрепленные участки плоской стенки трубной решетки и усилие изгиба, возникающее из-за разности температурных удлинений соседних труб или других элементов. При проектировании котла выбор расстояния между укрепляющими элементами трубной решетки является одной из наиболее важных и трудоемких задач, поскольку он связан со сложными математическими выкладками и с необходимостью прорисовывать проектируемый узел после каждого расчета.

В основу расчета на прочность в РД 10-249-98 положен принцип оценки конструкции по несущей способности, которая определяется предельным переходом наиболее нагруженного сечения из упругого состояния в пластическое. При этом напряженное состояние определяется по гипотезе Треска – Сен-Венана наибольшими касательными напряжениями. Характеристики пластичности сталей, применяемых при изготовлении трубных решеток, жаровых труб, огневых поворотных камер, позволяют проводить оценку прочности по упругопластическим напряжениям, т. е. выполнять расчет по упругой схеме. При этом поверочный расчет служит для проверки выполнения условий прочности при заданных основных размерах конструкции и расчетных нагрузках. Однако на стадии предварительного проектирования при выборе размеров трубных решеток и днищ, а также расстояний между укрепляющими элементами трубных решеток удобнее пользоваться не основополагающим громоздким расчетом [4], а более простым и наглядным методом, рассматриваемым в данной работе и позволяющим с меньшими затратами

труда выбрать размеры конструктивных элементов с достаточной точностью.

В настоящей работе предлагается метод предварительного расчета напряженно-деформированного состояния плоских кольцевых пластин жаротрубного котла, представленного на рисунке 1 в виде четырех параллельных плоских пластин и оболочек, расположенных в топке и соединенных жесткими поперечными связями. Метод основан на использовании прикладной теории упругости, в частности уравнений изгиба пластин, позволяющих получить линейные размеры (диаметр и толщину), значения прогибов и распределение внутренних усилий (моментов и поперечных сил) в наиболее опасных участках пластин [5, 6].

Расчетные формулы, связывающие максимальные напряжения в зоне просветов a , b , c (см. рисунок 1) с толщиной трубной решетки размерами указанных просветов и температурными смещениями для случая теплового расширения, можно получить на основании следующей упрощенной расчетной схемы: кольцевая пластина закреплена по внутреннему и наружному контурам. В результате температурных расширений соответствующих продольных связей внутренние кромки пластины испытывают относительное смещение (прогиб) w . При этом внешний контур остается жестко зашпеленным. Температура металла трубной решетки и связей определяется на основании уравнений теплопередачи и данных нормативного метода теплового расчета котельных агрегатов [3].

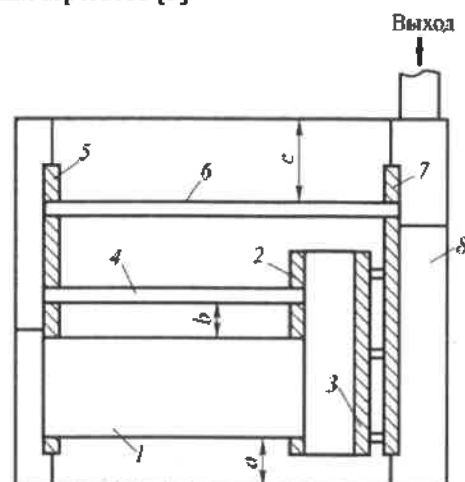


Рисунок 1 – Схема жаротрубного водогрейного котла:
1 – жаровая труба; 2, 3 – передняя и задняя стенки; 4, 5 – трубы первого и второго конвективных пучков; 6, 7 – переднее и заднее днища; 8 – корпус котла

Постановка задачи

Схема равнотолщинной однородной пластины круглой формы с круглым отверстием представлена на рисунке 2. Считается, что отверстие расположено коаксиально. Пластина закреплена по внешнему и внутреннему контурам и находится под действием внешней нагрузки F , равномерно распределенной по внутренней контуру. Постановка задачи и ее решение проводятся в полярной системе координат (z, r, φ) . Серединная плоскость пластины принимается за координатную.

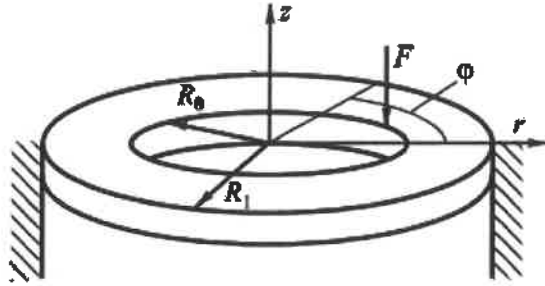


Рисунок 2 – Равнотолщинная однородная пластина круглой формы с круглым отверстием, защемленная по внутреннему и внешнему контурам: R_0 и R_1 – внутренний и внешний радиусы пластины

Дифференциальное уравнение изгиба круглых пластин имеет следующий вид [6]:

$$\Delta^2 w(r, \varphi) = \frac{q(r, \varphi)}{D} \quad (1)$$

Общее решение уравнения (1) можно представить так:

$$w(r) = C_1 + C_2 \cdot \ln(r) + C_3 r^2 + C_4 r^2 \cdot \ln(r) + w^*(e)(r), \quad (2)$$

где $w^*(r)$ – частное решение уравнения (1); C_1, \dots, C_4 – постоянные интегрирования.

Предполагается, что задача изгиба круглой пластины является осесимметричной, т. е. нагрузка на пластину и условия закрепления ее краев не зависят от полярного угла φ . При этом изогнутая срединная поверхность пластины будет представлять собой поверхность вращения относительно нормали к срединной плоскости. Следовательно, и прогиб пластины также не зависит от φ . Деформация пластины происходит таким образом, что всякий бесконечно малый линейный ее элемент, нормальный к срединной плоскости, после деформации сохраняет свою длину, остается прямым и нормальным к поверхности, в которую переходит срединная плоскость. Нормальные напряжения, возникающие на площадках, параллельных срединной плоскости, принимаются равными нулю из-за малого влияния на состояние равновесия и деформации пластины.

Поскольку в данной задаче распределенная по поверхности пластины нагрузка отсутствует, последнее слагаемое в уравнении (2) принимается равным нулю. Тогда согласно [6] прогиб пластины можно представить выражением

$$w(r) = C_1 + C_2 \cdot \ln(r) + C_3 r^2 + C_4 r^2 \cdot \ln(r). \quad (3)$$

Для определения постоянных интегрирования используются следующие граничные условия:

$$w(R_0) = w; \quad \left. \frac{dw(r)}{dr} \right|_{R_0} = 0;$$

$$w(R_1) = 0; \quad \left. \frac{dw(r)}{dr} \right|_{R_1} = 0.$$

Поскольку при осесимметричном изгибе производные по полярному углу φ крутящий момент и окружная поперечная сила равны нулю, то радиальную поперечную силу можно представить в следующем виде:

$$Q_r = -D \cdot \frac{d}{dr} \cdot \left(\frac{d^2 w}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{dw}{dr} \right). \quad (4)$$

Радиальная жесткость пластины согласно [7] определяется как

$$D = (E \cdot \delta^3) / (12 \cdot (1 - \mu^2)), \quad (5)$$

где μ – коэффициент Пуассона; δ – толщина пластины; E – модуль Юнга.

Прогиб пластин от разности температурных удлинений соседних труб или других элементов

Из уравнения (3) с учетом граничных условий получим систему четырех алгебраических уравнений относительно постоянных интегрирования:

$$ST = \begin{pmatrix} C_1 + C_2 \cdot \ln(R_0) + C_3 R_0^2 + C_4 R_0^2 \cdot \ln(R_0) = w \\ C_1 + C_2 \cdot \ln(R_1) + C_3 R_1^2 + C_4 R_1^2 \cdot \ln(R_1) = 0 \\ \frac{C_2}{R_0} + 2C_3 R_0 + 2C_4 R_0 \cdot \ln(R_0) + C_4 R_0 = 0 \\ \frac{C_2}{R_1} + 2C_3 R_1 + 2C_4 R_1 \cdot \ln(R_1) + C_4 R_1 = 0 \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Поскольку ранг расширенной матрицы ST равен 4 и совпадает с рангом матрицы системы, неоднородная система линейных алгебраических уравнений совместна (теорема Кронекера – Капелли). Решая систему, находим в явном виде постоянные C_i , которые зависят только от геометрических характеристик пластины:

$$C = \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{A} \cdot [-w R_1^2 \cdot (B) \cdot R_0^2 + R_1^2] \\ \frac{1}{A} \cdot 4 \cdot w \cdot R_1^2 \cdot \ln\left(\frac{R_1}{R_0}\right) \\ \frac{1}{A} \cdot w [R_1^2 \cdot (2 \ln R_1 + 1) - R_0^2 \cdot (2 \ln R_0 - 1)] \\ -\frac{1}{A} \cdot 2 \cdot w \cdot (-R_0^2 + R_1^2) \end{pmatrix}, \quad (7)$$

где $A = (-R_0^2 + R_1^2)^2 - 4 \cdot [\ln^2(R_1/R_0)] \cdot R_0^2 \cdot R_1^2$;

$B = 4 \cdot \ln R_0 \cdot \ln R_1 - 4 \ln^2 R_1 - 2 \cdot \ln R_0 - 1 + 2 \ln R_1$.

Реакция пластины определяется как равнодействующая радиальных поперечных сил Q_r , распределенных по окружности радиусом R_0 . После подстановки значений постоянных интегрирования (7) и жесткости (5) в уравнения (3) и (4) и соответствующих преобразований получается значение реакции опоры, действующей на малом радиусе,

$$Q_r = \frac{-4}{3} \cdot E \cdot \frac{3 \cdot w}{-1 + \mu^2} \frac{-R_0^2 + R_1^2}{(-R_0^2 + R_1^2) - 4 \cdot R_0^2 \cdot R_1^2 \cdot \ln^2 \left(\frac{R_0}{R_1} \right)}, \quad (8)$$

жесткость пластины равна $G_r = Q_r / w$. Тогда

$$G_r = \frac{-4}{3} \cdot E \cdot \frac{3}{-1 + \mu^2} \frac{-R_0^2 + R_1^2}{(-R_0^2 + R_1^2) - 4 \cdot R_0^2 \cdot R_1^2 \cdot \ln^2 \left(\frac{R_0}{R_1} \right)}. \quad (9)$$

Неравномерное распределение температуры по ходу движения дымовых газов в котле приводит к возникновению в плоскости пластин нагрузок, зависящих от их геометрических размеров, значений просветов и жесткости. Для оценки распределенной нагрузки между пластинами под действием термических напряжений используется следующая схема.

Прогиб i -й пластины

$$w_i = F \cdot \Psi_i,$$

где Ψ_i – податливость i -й пластины, $\Psi_i = 1/G_i$; G_i – жесткость i -й пластины; F – сила, действующая на пластину.

Податливость, жесткость и суммарный прогиб последовательной системы пластин соответственно равны

$$\Psi = \sum_i \Psi_i; \quad G = \frac{1}{\sum_i (1/G_i)}; \quad w = w_i.$$

Тогда доля прогиба i -й пластины в последовательной системе пластин

$$i = \frac{w_i}{w} = \frac{F \cdot \Psi_i}{F \cdot \Psi} = \frac{1/G_i}{\sum_i (1/G_i)} = \frac{1}{G_i \cdot \sum_i (1/G_i)}. \quad (10)$$

Далее определяется термическое расширение продольных связей при работе котла. По мере продвижения дымовых газов по конвективным трубам большая часть тепла передается теплоносителю, поэтому средняя температура нагрева поперечных связей в начале и в конце хода дымовых газов будет уменьшаться. Разность температур при нагреве поперечных связей по ходу дымовых газов $\Delta T_i = T_i - T_0$ (T_i – средняя температура i -й поперечной связи; T_0 – начальная температура). Тогда длину продольных связей после их нагрева можно представить, как $L_{ij} = L_0(1 + \alpha_i \cdot \Delta T_i)$ (α_i – коэффициент линейного расширения). Максимальное увеличение длины продольных связей, определяемое для каждого из просветов a , b и c , имеет вид

$$L = \begin{pmatrix} |L_{E_1} - L_{E_4}| \\ |L_{E_1} - L_{E_3}| \\ |L_{E_3} - L_{E_4}| \end{pmatrix}. \quad (11)$$

Тогда прогиб каждой пластины в последовательной системе пластин можно записать следующим образом:

$$w = \begin{pmatrix} w_a \\ w_b \\ w_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} L_1 \cdot 1 \\ L_2 \cdot 2 \\ L_3 \cdot 3 \end{pmatrix} \quad (12)$$

Усилия изгиба от действия внутреннего давления на неукрепленные участки плоской стенки трубной решетки.

Избыточное давление в межтрубном пространстве котла определяется для основного режима при расчетных температурах согласно [2]. Поскольку пластина находится под действием равномерно распределенной нагрузки, ее прогиб можно представить в виде [6]:

$$w = \frac{p \cdot r}{64D}, \quad (13)$$

где p – избыточное давление в котле.

Уравнения (3) и (13), связывающие прогиб пластины с ее жесткостью и избыточным давлением, записываются в виде матрицы и вектор-столбца. Две нижние строки в матрице и вектор-столбце представляют собой производные от прогиба по радиусу. Граничные условия принимаются однородными, так как пластина заземлена по внешнему и внутреннему диаметрам. Поскольку крутящий момент и окружная поперечная сила при осесимметричном изгибе равны нулю [6], то в пластине возникают только радиальное σ_r , окружное σ_ϕ , и касательное $\tau_{r\phi}$ напряжения и внутренние усилия: радиальный момент M_r , окружной момент M_ϕ и радиальная поперечная сила Q_r . Связь между напряжениями и внутренними усилиями, записанная в векторном виде, и граничные условия могут быть представлены следующим образом:

$$M = \begin{pmatrix} 1 \ln R_0 & R_0^2 & R_0^2 \ln R_0 \\ 1 \ln R_1 & R_1^2 & R_1^2 \ln R_1 \\ 0 & 1/R_0 & 2R_0 & R_0(2 \ln R_0 + 1) \\ 0 & 1/R_1 & 2R_1 & R_1(2 \ln R_1 + 1) \end{pmatrix} \cdot V = \begin{pmatrix} -p \cdot R_0^4 \\ 0 \\ 64 \cdot D \\ -p \cdot R_1^4 \\ 64 \cdot D \\ -p \cdot R_0^3 \\ 0 \\ 16 \cdot D \\ -p \cdot R_1^3 \\ 1 \\ 16 \cdot D \end{pmatrix};$$

$$w(R_0) = 0; \quad \frac{d}{dR} w(R_0) = 0; \quad (14)$$

$$w(R_1) = 0; \quad \frac{d}{dR} w(R_1) = 0.$$

Решение ищем численным методом:

$$c = M^{-1} \cdot V. \quad (15)$$

Внутренние усилия в кольцевой пластине, распределенные по окружности, можно записать так [5]:

– радиальный изгибающий момент

$$M_r(r) = -D \left[\frac{d^2}{dr^2} w(r) + \frac{\mu}{r} \cdot \frac{d}{dr} w(r) \right]; \quad (16)$$

– окружной изгибающий момент

$$M_\phi(r) = -D \left[\frac{1}{r} \cdot \frac{d}{dr} w(r) + \mu \cdot \frac{d^2}{dr^2} w(r) \right]; \quad (17)$$

– радиальная сила

$$Q_r(r) = -D \frac{d}{dr} \left[\frac{d^2}{dr^2} w(r) + \frac{1}{r} \frac{d}{dr} w(r) \right]. \quad (18)$$

Напряжения от действия внутренних усилий

$$r^{(r)} = \frac{6M_r(r)}{2}; \quad (r) = \frac{6M(r)}{2}; \quad (r) = \frac{3Q_r(r)}{2}. \quad (19)$$

Эквивалентное напряжение согласно [5] имеет вид

$$\sigma^{(r)} = \sqrt{[r^{(r)}]^2 + [(r)]^2 - r^{(r)} \cdot (r) + 3(r)}. \quad (20)$$

Численная проверка

Для проверки в качестве примера используем данные для водогрейного котла тепловой мощностью 0,5 МВт с рабочим давлением 1,0 МПа. По результатам теплового расчета выберем следующие размеры кольцевых пластин:

$$R_0 = \begin{Bmatrix} 0,360 \text{ м;} \\ 0,360 \text{ м;} \\ 0,535 \text{ м;} \\ 0,522 \text{ м;} \end{Bmatrix} \quad R_1 = \begin{Bmatrix} 0,510 \text{ м;} \\ 0,500 \text{ м;} \\ 0,695 \text{ м;} \\ 0,695 \text{ м.} \end{Bmatrix} \quad (21)$$

Предварительно примем, что толщина стенок кольцевых пластин равна 14 мм. Для упрощения расчетов предположим, что длина всех продольных связей одинакова. Половина длины продольных связей составляет 1000 мм. Согласно тепловому расчету температуры нагрева равны, °С: жаровой трубы – 212; конвективных труб второго хода – 131; конвективных труб третьего хода – 120; корпуса – 115. По формулам (10)–(12) с учетом коэффициентов линейного расширения определим максимальный прогиб для каждого из просветов:

$$L_a = 1,27 \text{ мм};$$

$$L_b = 1,07 \text{ мм};$$

$$L_c = 0,06 \text{ мм}.$$

Поскольку максимальное тепловое расширение реализуется в местах с максимальной температурой (см. рисунок 1), то в дальнейших расчетах можно находить распределение прогибов в пластинах только в области просвета a :

$$w_a = \begin{Bmatrix} 0,34 \text{ мм;} \\ 0,28 \text{ мм;} \\ 0,29 \text{ мм;} \\ 0,37 \text{ мм.} \end{Bmatrix}$$

Из выражений (14)–(20) с учетом известного максимального значения прогиба (в данном случае это 0,37 мм) определяются значение нагрузки, действующей при тепловом расширении, и соответствующее значение эквивалентного напряжения. Максимальное значение эквивалентного напряжения, возникающего в четвертой пластине, согласно выражению (20) равно 278,5 МПа. По значениям рабочего давления, которое устанавливается техническим заданием на котел, и коэффициента запаса (согласно [2]) определяется расчетное давление в межтрубном пространстве. Затем из уравнений (14)–(20) рассчитывается эквивалентное напряжение, вызванное прогибом пластины вследствие избыточного давления внутри котла. При расчетном

внутреннем давлении 1,5 МПа это давление равно 41 МПа.

Далее определяем сумму эквивалентных напряжений от действия теплового расширения и избыточного давления на четвертой кольцевой пластине. Затем полученное значение сравним с допускаемым напряжением и уточним толщину кольцевой пластины. При этом изменение толщины пластины или одного из ее диаметров не должно приводить к существенному перераспределению прогиба между всеми пластинами. В рассматриваемом случае сумма напряжений составляет 278,5 + 41 = 319,5 МПа, что превышает значение допускаемого напряжения, равное $\sigma_{02}/1,1 = 295,5$ МПа (для стали 09Г2С $\sigma_{02} = 325$ МПа [4]). При уменьшении внутреннего радиуса четвертой пластины до 510 мм и увеличении ее толщины до 15 мм распределение прогиба между пластинами, согласно (12), будет почти равномерным:

$$w_b = \begin{Bmatrix} 0,33 \text{ мм;} \\ 0,30 \text{ мм;} \\ 0,31 \text{ мм;} \\ 0,33 \text{ мм.} \end{Bmatrix}$$

При толщине четвертой пластины 15 мм максимальный прогиб составляет 0,33 мм, а эквивалентное напряжение – 245,2 МПа. Суммарное напряжение – 286,2 МПа, поэтому толщину четвертой пластины выбираем равной 15 мм. Окончательные размеры кольцевых пластин устанавливаются на стадии финишного проектирования после проведения поверочного расчета согласно [4].

Таким образом, авторами настоящей статьи предложен алгоритм определения прогиба и распределения внутренних напряжений в плоских кольцевых пластинах, подвергнутых тепловому и силовому воздействию. Расчет по предлагаемой методике позволяет без предварительной прорисовки, используя простые конечные выражения, сделать выбор геометрических размеров трубных решеток на предварительной стадии проектирования жаротрубных котлов.

Список литературы

- 1 Фокин В. М. Теплогенераторы котельных / В. М. Фокин // Машиностроение. – 2005. – № 1.
- 2 Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов. – М.: Энергоиздат, 1994.
- 3 Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод) / под ред. Н. В. Кузнецова. – М.: Энергия, 1973.
- 4 РД 10-249-98. Нормы расчета на прочность стационарных котлов и трубопроводов пара и горячей воды. – М.: ОРГРЭС, 1999.
- 5 Власов, В. З. Избранные труды / В. З. Власов. Т. 3. – М.: Наука, 1964.
- 6 Сопротивление материалов с основами теории упругости и пластичности / Г. С. Варданян [и др.]. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 1995.
- 7 Вайнберг, Д. В. Расчет пластин / Д. В. Вайнберг, Е. Д. Вайнберг. – Киев: Будивельник, 1970.

Получено 01.04.2020

A. Z. Skorohod. Assessment of internal voltage distribution of ring plates in calculation of heat pipe boilers.

A method for calculating the stress-strain state in flat round plates is considered. The proposed algorithm for determining the deflection of plates and the distribution of internal stresses allows us to give practical engineering recommendations when choosing the geometric dimensions of pipe gratings and flat bottoms.

УДК 631.3:621.9

И. И. СУТОРЬМА, кандидат технических наук, Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

Получены рекомендации по разбиению расчетной области при численном моделировании одноступенчатых центробежных насосов на две части, с неподвижной и вращающейся системами координат, размерам расчетной сетки, а также длине выходного патрубка насоса для устранения эффекта пересечения границ расчетной области вихревыми потоками. Представлены результаты оптимизации точности результатов расчета статического и динамического давлений в полости насоса ПН-40У при использовании метода конечных объемов для решения задачи математического моделирования на основе системы дифференциальных уравнений в частных производных типа Навье-Стокса.

Центробежные насосы получили широкое распространение в различных отраслях техники. Их применяют в системах внутреннего и наружного водоснабжения, пожарных насосных установках, системах охлаждения двигателей внутреннего сгорания. В настоящее время важной задачей является повышение надежности и эффективности работы центробежных насосов, что в немалой степени зависит от их конструктивных параметров. При этом оптимизация конструкций центробежных насосов представляет значительные трудности, обусловленные сложностью проведения исследований гидродинамических процессов, протекающих в их полостях и, в первую очередь, экспериментальных исследований по определению полей скоростей и давлений. Одним из путей решения данной проблемы является численный эксперимент [1].

Методика математического моделирования, предложенная в работе [2], была разработана на основе системы дифференциальных уравнений в частных производных типа Навье-Стокса, замыкаемых уравнением неразрывности потока. Эта математическая модель нашла достаточно широкое применение в системах гидродинамического типа. В качестве численного метода решения, в указанной работе, использовался метод конечных объемов, реализуемый на алгоритмическом и программном уровне в пакете прикладных программ COSMOSFloWorks среды 3D-моделирования SolidWorks [3].

Сущность методики состоит в том, что течение жидкости в полости центробежного насоса носит турбулентный характер и формируется в результате вращения рабочего колеса с некоторой угловой скоростью (Ω). При этом, указанная система дифференциальных уравнений рассматривается в рамках подхода Эйлера с осреднением по Рейнольдсу и имеет вид:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k} (\rho u_k) = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial (\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k} (\rho u_i u_k - \tau_{ik}) + \frac{\partial p}{\partial x_i} = S_i, \quad (2)$$

$$\frac{\partial (\rho E)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k} ((\rho E + P) u_k + q_k - \tau_{ik} u_i) = S_k u_k + Q_H, \quad (3)$$

где t – время; u – скорость; ρ – плотность текучей среды; p – давление; S_i – внешние массовые силы; E – полная энергия единичной массы текучей среды; Q_H – тепло, выделяемое тепловым источником в единичном

объеме текучей среды; τ_{ik} – тензор вязких сдвиговых напряжений; q_i – диффузионный тепловой поток.

Для нахождения искомого решения, в общем случае, нестационарная численная математическая модель физических процессов дискретизируется как по пространству, так и по времени.

С целью дискретизации по пространству вся расчетная область покрывается расчетной сеткой, грани ячеек которой параллельны координатным плоскостям, используемой в расчете декартовой глобальной системы координат модели. Ячейки расчетной сетки имеют форму параллелепипедов. Область, в которой строится сетка, также имеет форму параллелепипеда. Расчеты проводятся только в ячейках, попавших в расчетную область, т. е. в пространство, заполненное в соответствии с постановкой задачи текучей средой. Значения независимых переменных рассчитываются в центрах ячеек, а не в узлах расчетной сетки, как в методах конечных разностей. Такой метод носит название «метод конечных объемов».

Сущность дискретизации дифференциальных уравнений в методе конечных объемов заключается в том, что пространственные производные аппроксимируются с помощью неявных разностных операторов второго порядка точности.

С целью дискретизации расчетной области по времени для более эффективного расчета давления и скорости также используется метод расщепления операторов.

Для реализации данной методики была построена твердотельная 3D-модель центробежного насоса ПН-40У в системе SolidWorks. Внутренние моделируемые полости моделей корпуса и крышки, а также рабочее колесо выполнялись точно в соответствии с реальными деталями насоса.

Для рассматриваемого насоса имеются известные значения входных и выходных параметров в стационарной постановке задачи. На рисунке 1 представлены результаты расчета, соответствующие номинальному режиму работы насоса: частота вращения рабочего колеса 2700 мин^{-1} ; общее давление на входе 10^5 Па ; подача на выходе 40 л/с . По анализу изолиний давления, представленных на рисунке 1 видно, что среднее давление в выходном сечении напорного патрубка насоса составляет $11 \times 10^6 \text{ Па}$, или напор насоса порядка 10^7 Па , что на порядок ниже действительного значения.

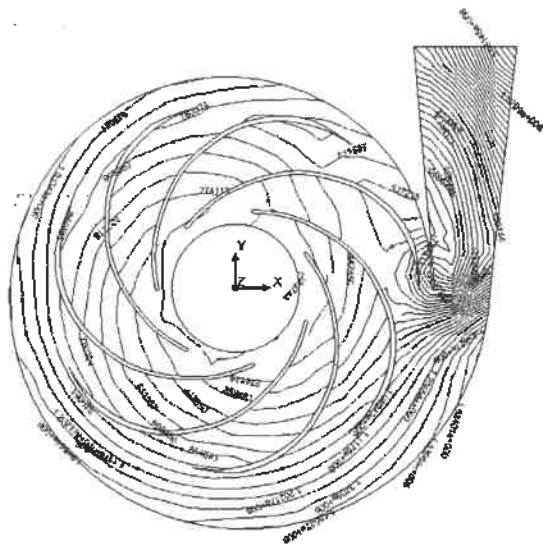


Рисунок 1 – Распределение изолиний давления по сечению центробежного насоса ПН-40У при номинальном режиме работы

Полученные данные свидетельствуют о невысокой степени сходимости результатов расчета с известными в литературе данными, что обусловлено следующими причинами [4]:

- искажением картины течения в расчетной области, соответствующей выходному патрубку насоса, вследствие того, что система координат расчетной области колеса должна быть вращающейся и учитывающей центробежные и кориолисовы силы инерции, а в вы-

ходном патрубке эти силы не воздействуют на движущийся поток жидкости;

- возникновением вихрей, которые пересекают области с граничными условиями на входных и выходных отверстиях и вносят погрешность при расчете входного и выходного расхода соответственно;

- крупным шагом дискретизации расчетной области, возникающим вследствие стремления сократить время расчета, которое существенно даже для высокопроизводительного компьютера.

С целью адаптации математической модели и численного метода для повышения точности результатов расчета гидродинамического режима работы центробежного насоса ПН-40У расчет проводили при известных значениях динамического и статического давления: $P_{дин} = 19731$ Па; $P_{ст} = 1080269$ Па. Эти значения принимались за точные решения задачи.

На рисунке 2 представлены зависимости контролируемых параметров от размеров расчетной сетки, а в таблице 1 – точность полученных результатов.

Анализ результатов первой серии численных экспериментов показал, что с уменьшением шага дискретизации по пространству общее давление и расход уже на сетке $70 \times 70 \times 70$ ячеек близки к значениям установившегося процесса при удовлетворительных отклонениях значений 0,23 и 0,01 % соответственно. Вместе с тем наблюдаются значительные колебания статического и динамического давлений, а значения отклонений этих параметров от установившегося составляют более 300 и 6 % соответственно.

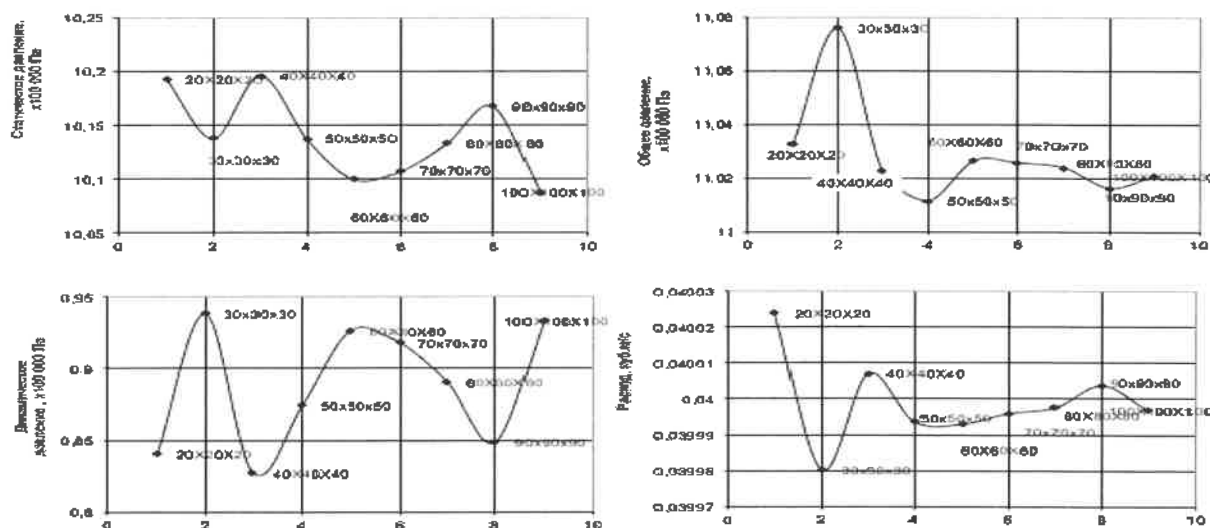


Рисунок 2 – Графики зависимостей параметров на выходе насоса от количества ячеек расчетной сетки для модели насоса без удлинения выходного патрубка

Таблица 1 – Отклонения параметров на выходе насоса для модели без удлинения выходного патрубка

Количество ячеек расчетной сетки	Давление			Расход
	общее	статическое	динамическое	
50×50×50	-0,10	6,12	-332,97	-0,02
60×60×60	-0,24	6,46	-358,74	-0,02
70×70×70	-0,23	6,39	-354,59	-0,01
80×80×80	-0,22	6,16	-341,05	-0,01
90×90×90	-0,15	5,84	-320,26	0,01
100×100×100	-0,19	6,58	-362,04	-0,01

В процентах

Таким образом, одним измельчением сетки расчетной области достичь результатов с требуемой степенью точности не представляется возможным. При постановке задачи указывалось на необходимость исключения возможности пересечения вихрями потока границ расчетной области на входном и выходном отверстиях.

С этой целью увеличивалась длина выходного патрубка, т. к. граничное условие ставилось на выходном отверстии.

Вторая серия численных экспериментов проводилась с моделью насоса, у которого выходной патрубок был удлинен на 0,25 м. Так как при изменении геометрических параметров модели изменилась форма расчетной области, то для сохранения кубической формы ячейки изменялись пропорции количества ячеек в направлении осей системы координат. Поэтому расчет производился на расчетных сетках в диапазоне от $10 \times 16 \times 6$ до $100 \times 160 \times 60$ ячеек.

Анализ результатов этой серии показал, что увеличение выходного патрубка насоса существенно стабилизирует процесс сходимости результатов по статическому и динамическому давлению на выходе и ведет к снижению погрешности эксперимента.

Отклонение статического давления значительно снизилось и стало меньше максимально допустимого значения. Отклонение динамического давления уменьшилось по сравнению с первой серией численных экспериментов в среднем в 2 раза, однако оно всё же существенно больше максимально допустимого значения.

Следует отметить, что при расчетной сетке $90 \times 144 \times 54$ ячейки наблюдается аномальный скачок статического, динамического и, как следствие, общего давления.

Поведение кривой аналогично тому, как если бы увеличения выходного патрубка не производилось вообще. То есть на сетке, обеспечивающей необходимую точность расчета, произошел выход вихря за пределы расчетной области в выходном сечении. Таким образом, увеличением выходного патрубка на 0,25 м полностью избавиться от пересечения выходного сечения вихревым потоком, не удалось.

Для полного исключения вихревого влияния на результаты расчета в выходном патрубке его длина была увеличена на 0,5 м и проведена третья серия численных экспериментов. Расчет производился на расчетных сетках в том же диапазоне, что и для второй экспериментальной серии.

Получено 11.03.2020

I. I. Sutarma. Improving results accuracy numerical modeling centrifugal pumps.

Recommendations are obtained on dividing the computational domain when numerically simulating single-stage centrifugal pumps into two parts, with a fixed and rotating coordinate systems, the dimensions of the computational grid, and also the length of the pump outlet pipe to eliminate the effect of crossing the boundaries of the computational domain by vortex flows. The results of optimizing the accuracy of the results of calculating the static and dynamic pressures in the PN-40U pump cavity using the finite volume method to solve the mathematical modeling problem based on a system of partial differential equations of the Navier-Stokes type are presented.

Анализ результатов расчета и отклонений параметров насоса на выходе показал, что при увеличенной на 0,5 м длине выходного патрубка модели насоса, процесс счета стабилизируется уже на расчетной сетке размером $50 \times 110 \times 30$ ячеек, а на расчетной сетке $60 \times 132 \times 36$ ячеек, что в целом составляет 285120 ячеек, результаты расчета перестают значительно зависеть от частоты сетки. Отклонения всех контролируемых параметров насоса при этом попадают в область допустимых значений.

Заключение

С целью исключения погрешности при численном моделировании одноступенчатых центробежных насосов с диаметром рабочего колеса 0,3–0,5 м на основе системы дифференциальных уравнений в частных производных типа Навье-Стокса с применением метода конечных объемов в качестве численного метода решения задачи, обусловленной пересечением вихрей потока границ расчетной области на выходном отверстии насоса, необходимо удлинять выходной патрубок не менее чем на 0,5 метра от выходного сечения.

При этом погрешность расчетов общего, статического и динамического давления, а также расхода на сетке $60 \times 132 \times 36$ ячеек не превышает 5 %.

Список литературы

1 Суторьяма, И. И. Численный эксперимент при исследовании центробежных пожарных насосов / И. И. Суторьяма, А. В. Лифанов, Д. М. Скидан // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – № 2 (2). – 2007. – Гомель : ГИИ МЧС Респ. Беларусь. – С. 18–27.

2 Суторьяма, И. И. Математическая модель для исследования центробежных пожарных насосов / И. И. Суторьяма, А. В. Лифанов // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : ГИИ, 2008. – С. 75–76.

3 COSMOSFloWorks / А. А. Алямовский [и др.] // Компьютерное моделирование в инженерной практике. – СПб., 2005.

4 Суторьяма, И. И. Адаптация численного метода решения к математической модели центробежного пожарного насоса / И. И. Суторьяма, А. В. Лифанов // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – № 1 (3). – 2008. – Гомель : ГИИ МЧС Респ. Беларусь. – С. 90–96.

ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

УДК 656.23

И. А. ЕЛОВОЙ, доктор экономических наук, Л. В. ОСИПЕНКО, научный сотрудник, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ ТАРИФОВ НА ПЕРЕВОЗКУ ГРУЗОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ

Представлены предпосылки для разработки новых тарифов на перевозку грузов железнодорожным транспортом и методика построения модели себестоимости для тарифных целей по трем тарифным составляющим. Показана структура новой тарифной системы и порядок определения платы за перевозку груза в вагонах перевозчика и грузоотправителей, грузополучателей, а также рассмотрены достоинства и недостатки тарифов, разработанных на основании новых подходов.

Одним из главных требований рынка железнодорожных перевозок является обеспечение транспарентности тарифов и возможности их гибкого регулирования. В настоящее время в сфере железнодорожных грузовых перевозок в странах Евразийского экономического союза наблюдается устойчивая тенденция к увеличению доли частных вагонов в грузовых перевозках наряду с сокращением до минимума парка вагонов перевозчика (инвентарных вагонов). Во многих государствах широко обсуждается вопрос о развитии конкуренции в данной сфере, связанной с возможностью осуществления грузовых перевозок сторонними перевозчиками, не входящими в структуру железнодорожного транспорта общего пользования.

Кроме этого, следует отметить, что разработка унифицированных тарифов Постановления МАРТ Республики Беларусь от 22.01.2018 № 8 осуществлялась в 2012 году на базе статистических данных и расходов 2011 года, и за время, прошедшее с момента их утверждения, тарифы индексировались только один раз на 10 %, в связи с чем потребовал пересмотра и уровень тарифов.

Перечисленные обстоятельства обусловили необходимость разработки новых тарифов с выделением трех составляющих и методического обеспечения для их ежегодной индексации.

В процессе разработки новой тарифной системы решен ряд задач, в частности:

- разработаны новые подходы по расчету себестоимости грузовых перевозок для тарифных целей и математических зависимостей изменения расчетной себестоимости от расстояния перевозки, массы груза и иных параметров;
- определен нижний предел тарифа на перевозку грузов;
- выработаны рекомендации по структуре тарифного руководства с выделением составляющих в общем тарифе;
- сформированы тарифы на перевозку грузов и выполнено моделирование доходов железной дороги в условиях их применения.

Базой для расчета послужили исходные статистические данные за 2017 год, включая расходы Белорусской железной дороги, связанные с перевозкой грузов, а также ряд количественных показателей, характеризующих работу железнодорожного транспорта.

Выделение как в расходной, так и в доходной частях трех тарифных составляющих (инфраструктурной, локомотивной и вагонной) позволяет решить ряд задач:

во-первых, создать предпосылки к корректному определению себестоимости перевозки как в случае ее осуществления железной дорогой в вагоне инвентарного парка, так и в иных случаях; во-вторых, способствовать созданию методической основы для осуществления ежегодной индексации тарифов в зависимости от изменения параметров себестоимости с учетом того, что структура затрат, а следовательно, и их изменение по тарифным составляющим существенно отличаются; в-третьих, предоставить возможность расчета себестоимости перевозки груза определенной массы на конкретное расстояние, что актуально при установлении размера скидки.

В основу расчета себестоимости для тарифных целей по трем тарифным составляющим положена параметрическая модель, построенная с учетом специфики работы железнодорожного транспорта путем выделения в расходах начально-конечной и движущейся операций.

До утверждения и введения в действие с 31.07.2019 новой тарифной системы при определении возможной скидки с тарифа в качестве нижнего ценового предела перевозки принималась средняя себестоимость по Белорусской железной дороге. Она определялась как частное от деления общих эксплуатационных расходов железной дороги по грузовым перевозкам на соответствующий объем эксплуатационной работы и не учитывала соотношение начально-конечной и движущихся операций в каждом конкретном случае, что не давало возможности учесть реально возникающие расходы на перевозку и существенно влияло на размер скидки с тарифа.

При разработке новых тарифов расчеты выполнены по трем тарифным составляющим: инфраструктурной, вагонной и локомотивной с учетом параметров начально-конечной и движущихся операций, а также зависимости себестоимости от массы груза и расстояния перевозки. В результате получены расчетные формулы себестоимости для тарифных целей, которые для трех тарифных составляющих (инфраструктурной, вагонной и локомотивной) могут быть представлены в виде

$$C_{\text{и}} = A_{\text{и}} + (B_{\text{и}} + D_{\text{и}}P)L; \quad (1)$$

$$C_{\text{в}} = A_{\text{в}} + (B_{\text{в}} + D_{\text{в}}P)L; \quad (2)$$

$$C_{\text{л}} = A_{\text{л}} + (B_{\text{л}} + D_{\text{л}}P)L, \quad (3)$$

где $A_{\text{и}}$, $A_{\text{в}}$, $A_{\text{л}}$ – параметры модели себестоимости для начально-конечных операций для инфраструктурной, вагонной и локомотивной тарифных составляющих соответственно; $B_{\text{и}}$, $B_{\text{в}}$, $B_{\text{л}}$ – параметры модели себестоимости

мости для движущихся операций в расчете на вагоно-километр для инфраструктурной, вагонной и локомотивной тарифных составляющих соответственно; $D_{и}$, $D_{в}$, $D_{л}$ – параметры модели себестоимости для движущихся операций в расчете на тонно-километр для инфраструктурной, вагонной и локомотивной тарифных составляющих соответственно; P – масса груза; L – расстояние перевозки.

Графическая интерпретация зависимости себестоимости для тарифных целей в расчете за один тонно-километр от массы груза и расстояния перевозки представлена на рисунке 1, из которого видно, что для инфраструктурной, локомотивной и вагонной составляющих характер зависимости от указанных факторов отличается. Инфраструктурная составляющая в наибольшей степени подвержена влиянию изменения как массы перевозимого груза, так и расстояния транспортировки, а локомотивная составляющая с увеличением расстояния практически не изменяется.



Рисунок 1 – Зависимость себестоимости перевозки:
а – от массы перевозимого груза;
б – от расстояния транспортирования

На основании анализа текущей экономической ситуации в Республике Беларусь и опыта развития рынка же-

лезнодорожных услуг и тарифообразования в других странах СНГ сформулированы основные принципы, которые должны закладываться в основу тарифной системы:

1) экономическая обоснованность, обеспечиваемая расчетом себестоимости для тарифных целей на базе фактических эксплуатационных расходов и объемных показателей работы Белорусской железной дороги за период, предшествующий расчетному;

2) уровень рентабельности, необходимый для выполнения социальных обязательств, программ ремонта пути, подвижного состава и технических средств, обновления подвижного состава и развития инфраструктуры, возврата заемных средств и др.;

3) отказ от перекрестного финансирования пассажирских перевозок за счет грузовых или, как минимум, снижение финансовой нагрузки на грузовые перевозки в этой части, следуя общемировым тенденциям полного или частичного финансирования убыточных пассажирских перевозок из государственных и/или региональных бюджетов. В новых тарифах это положение на данный момент не реализовано вследствие ряда причин, в частности, ввиду отсутствия государственной поддержки пассажирских перевозок;

4) сокращение разницы между тарифами на перевозку высоко- и низкостойких грузов. Многие грузовые перевозки, в частности, перевозки щебня и лесных грузов, являются глубоко убыточными, и субсидируются путем применения высоких тарифов на перевозки, например, нефтепродуктов или черных металлов. Кроме этого, перевозка ряда грузов по тарифам ниже экономически обоснованного уровня приводит к дисбалансу тарифов на груженный и порожний рейсы для вагонов грузоотправителей, грузополучателей, а также к существенной разнице (до 60 %) между тарифами на перевозку таких грузов в вагонах перевозчика и грузоотправителей, грузополучателей. Однако с учетом сложившейся в настоящий момент конъюнктуры рынка, требующей снижения тарифов на перевозку ряда низкостойких грузов, в проекте тарифов сохранится зависимость уровня провозной платы от рода груза. Необходимо отметить, что такой подход адекватно работает в случае осуществления перевозок одним перевозчиком – железной дорогой. При условии либерализации рынка грузовых железнодорожных перевозок могут возникнуть проблемы, связанные с уходом наиболее выгодных перевозок высокостойких грузов к частным перевозчикам, которые не несут социальных нагрузок и обязанностей по перекрестному финансированию убыточных перевозок грузов и пассажиров, что может повлечь за собой негативные последствия для Белорусской железной дороги;

5) гибкость тарифной системы, позволяющая оперативно реагировать на изменившиеся условия рынка;

6) применение при разработке тарифов с выделением тарифных составляющих параметрической модели зависимости себестоимости перевозки от массы груза и расстояния транспортирования как наиболее полно отражающей специфику грузовых железнодорожных перевозок;

7) упрощение тарифной системы (сокращение количества тарифных схем, отказ от дифференциации тари-

фов в зависимости от тарифного класса груза, упрощение порядка расчета провозной платы);

8) обеспечение регулярной корректировки уровня тарифов с целью приведения в соответствие с текущей экономической ситуацией.

Согласно новой тарифной системе перевозка грузов повагонными отправками в универсальных и специализированных вагонах перевозчика тарифицируется по трем общим схемам И1, В, Л1, представляющим собой соответственно инфраструктурную, вагонную и локомотивную составляющие тарифа и учитывающим порожний пробег вагона перевозчика в среднеторжных условиях.

Дифференциация тарифов по роду груза реализуется путем применения соответствующего коэффициента к сумме тарифных составляющих, определенных для конкретного расстояния транспортировки и конкретной массы перевозимого груза.

Плата за перевозку груза в вагоне железной дороги при этом представляет собой сумму всех трех составляющих, умноженную на коэффициент $k_{тр}$, который зависит от рода груза:

$$\Pi_{жд}^{гр} = (И1 + Л1 + В1)k_{тр}. \quad (4)$$

Перевозка грузов в универсальных и специализированных вагонах грузоотправителя, грузополучателя тарифицируется по двум общим схемам И2, Л2, которые представляют собой инфраструктурную и локомотивную тарифные составляющие, рассчитанные только для грузевого рейса. Дифференциация тарифов в зависимости от рода груза осуществляется способом, рассмотренным выше, а плата за перевозку определяется по формуле

$$\Pi_{прив}^{гр} = (И2 + Л2)k_{тр}. \quad (5)$$

Плата за порожний пробег вагонов грузоотправителя, грузополучателя определяется суммой тарифов по тарифным схемам И3 и Л3, отражающих уровень инфраструктурной и локомотивной составляющих для порожнего рейса частных вагонов. Дифференциация по роду груза в данном случае не применяется:

$$\Pi_{прив}^{пор} = И3 + Л3. \quad (6)$$

На рисунке 2 в упрощенном виде представлена структура тарифной системы и способ определения платы за перевозку груза в вагонах различных форм собственности.



Рисунок 2 – Новая тарифная система и схема тарификации

На основании рассчитанной себестоимости для тарифных целей с учетом прогнозных темпов роста расходов по грузовым перевозкам в разрезе тарифных составляющих, а также минимально необходимого для обеспечения перекрестного финансирования пассажирских перевозок и сохранения доходов железной дороги уровня рентабельности сформирован верхний предел тарифов на грузовые железнодорожные перевозки.

Сопоставление базовых ставок новых тарифов с аналогичными тарифными ставками унифицированных тарифов Постановления МАРТ от 22.01.2018 № 8, в частности, для универсальных вагонов, показало, что средний рост новых базовых тарифов составляет 10–15%.

В части плат за дополнительные работы и услуги в новых тарифах также произошли некоторые изменения: ряд дополнительных работ и услуг, которые потенци-

ально могут выполнять организации и предприятия, не входящие в состав железной дороги, выведены из регулируемого сектора МАРТ, что призвано способствовать развитию конкуренции в этой сфере. В частности, к таким услугам относятся:

- очистка, промывка и дезинфекция вагонов, контейнеров;
- взвешивание грузов, вагонов, автомобилей;
- пломбирование вагонов, контейнеров и др.

В заключение рассмотрим достоинства и недостатки новых тарифов. К несомненным плюсам новой тарифной системы следует отнести:

- 1) обеспечение прозрачности механизма формирования тарифных ставок;
- 2) возможность гибкого регулирования тарифов в соответствии с изменениями на рынке;

3) упрощенную структуру тарифов и сокращение количества тарифных схем;

4) возможность определения себестоимости перевозки груза заданной массы на конкретное расстояние, что особенно актуально при установлении размера скидки с тарифа;

5) возможность определения себестоимости перевозки груза локомотивами и вагонами различных форм собственности;

6) наличие методики, позволяющей регулярно индексировать тарифы в соответствии с изменением затрат по элементам.

Вместе с тем проект имеет и ряд недостатков, среди которых следует отметить:

1) сохранение перекрестного финансирования убыточных пассажирских перевозок за счет грузовых;

2) наличие разницы между уровнем тарифа на пере-

возку высоко- и низкостоймых грузов, а также сохранение разницы между грузеным и порожним рейсами приватного вагона при перевозке низкостоймых грузов;

3) разработка прозрачного механизма определения себестоимости для тарифных целей на основании данных о расходах дороги по тарифным составляющим и дальнейшего формирования тарифов повлекла за собой сокращение числа тарифных схем, что, в свою очередь, стало причиной дисбаланса, возникшего при наложении друг на друга двух тарифных систем: новой и старой. В результате для корректировки и устранения такого дисбаланса потребовалось введение ряда дополнительных коэффициентов, зависящих не только от рода перевозимого груза, но и от расстояния транспортировки, принадлежности и типа подвижного состава.

Получено 28.02.2020

I. A. Yelovoy, L. V. Asipenka. New approaches to formation of tariffs on transportation of goods by railway transport.

The prerequisites for the development of new tariffs for the transportation of goods by railway transport and the methodology for constructing a cost model for tariff purposes for the three tariff components are presented. The structure of the new tariff system and the procedure for determining the payment for the transportation of freight in the wagons of the carrier and consignors, consignees, and the advantages and disadvantages of tariffs developed on the basis of new approaches are shown.

УДК 330.1

Д. В. ЛУКЬЯНОВ, кандидат технических наук, Ю. Д. ПРИМАК, кандидат военных наук, филиал БНТУ «Межотраслевой институт повышения квалификации и переподготовки кадров по менеджменту и развитию персонала», г. Минск

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЖКХ НА ОСНОВЕ РЕИНЖИНИРИНГА БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

Рассматривается возможность и необходимость применения в ходе цифровой трансформации отрасли ЖКХ метода реинжиниринга бизнес-процессов как одного из наиболее эффективных методов изменения предприятий в любой сфере деятельности, а также особенности и возможности цифровой трансформации в одной из самых сложных и важных, социально значимых отраслей национальной экономики – отрасли ЖКХ.

Несмотря на явное отсутствие новизны в самой идее реинжиниринга бизнес-процессов в сфере ЖКХ, чему на протяжении как минимум последних десяти лет регулярно посвящаются работы специалистов этой сферы и диссертационные работы [1, 2], данная тема в условиях бурного развития цифровых технологий приобретает несколько иное трактование, чем даже всего лишь пять-десять лет назад. Отдельного внимания заслуживает и необходимость анализа соответствующего правового поля реинжиниринга такого вида деятельности, в т. ч. с использованием современных информационных технологий [3]. Реинжиниринг в контексте «новой автоматизации» стоит рассматривать именно как способ кардинального изменения процессов всей отрасли из состояния «как есть» в состояние «как будет» на основании обретения видения «каким может быть» будущее. И в этом плане могут обрести новую актуальность многие инновационные идеи, для которых срок их известности измеряется уже не одним годом, но, тем не менее, которые в отечественных условиях «зрелости» окружающих их процессов просто не могли получить широкое распространение. Это можно сказать про модели управления в строительстве. Например, более чем логична идея реинжиниринга деятельности по управлению строительством [4], в том числе с применением BIM-технологии, которая все еще не способна стать широко распространенной на уровне зрелости выше второго (по классификации, предложенной в модели Бью-Ричардса [5]), причем не только на постсоветском пространстве. Что же является ключевым триггером новой цифровизации? С одной стороны, это может быть сильное давление и инициатива со стороны государства. В идеале – с соответствующими программами поддержки. В этом отношении весьма интересным является опыт Великобритании в ее стремлении к использованию уже упомянутых BIM-технологий. С другой стороны, заслуживает внимания и широко-масштабное распространение «Индустрии 4.0», начавшееся совсем недавно в Европе, где движущей силой стали инициативы со стороны крупных промышленных предприятий, широко поддержанные государством [6]. Причем такое движение стоит рассматривать и как возможность для очередного реинжиниринга, только уже в плане прорывных инноваций – отказываясь от попыток оттолкнуться от текущего состояния «как есть» в ряде отраслей, сразу переходя к «как будет», в т. ч. «перепрыгивая» через несколько этапов развития технологии [7–9]. Примеров эффективного реинжиниринга извест-

но много. И не только на уровне предприятий и организаций, не только в сфере информационных технологий и телекоммуникаций, но и на уровне управления целыми отраслями экономики и странами.

Ярким примером реинжиниринга в социальной сфере является история реформирования ЖКХ ближайшего соседа Республики Беларусь – Российской Федерации, где о необходимости принятия неотложных мер в жилищно-коммунальном хозяйстве было заявлено еще в 1997 году, когда вышел Указ Президента Российской Федерации «О реформе жилищно-коммунального хозяйства в Российской Федерации», определивший концепцию проведения реформы и развития ЖКХ в России. При этом основными направлениями и перспективами реформы ЖКХ были заявлены: переход коммунального сектора на рыночные отношения; увеличение доли участия частного бизнеса; стимулирование конкуренции; улучшение качества коммунальных услуг; ликвидация образовавшихся монополий в отрасли; обновление жилищно-коммунального комплекса; развитие института эффективного собственника; капитальный ремонт жилого фонда; ввод и эксплуатация энергоэффективных технологий; сохранение системы соцзащиты и поддержка льготных слоев населения [11]. «Владельцем процессов» реформы стал Фонд содействия реформированию жилищно-коммунального хозяйства, созданный 21 июля 2007 г., призванный стимулировать формирование эффективных методов управления жильем и переход на ресурсосберегающие технологии.

Организация реформы на основе методологии реинжиниринга позволила России полностью перейти на 100 %-е возмещение стоимости жилищно-коммунальных услуг, развить институты собственника жилья, внедрить в управление и эксплуатацию жилого фонда рыночные механизмы, создать конкурентную среду и рабочие места для предприятий малого и среднего бизнеса, полностью избавиться от необходимости содержания государственных коммунальных предприятий для оказания услуг в сфере ЖКХ. При этом государство не потеряло контроль и влияние на отрасль, оптимизировав структуру государственного управления и регулирования, в которой за счет цифровой трансформации основную роль сегодня играет государственная информационная система ГИС ЖКХ, построенная на основе информационно-коммуникационных технологий и сети интернет.

В Республике Беларусь также производится реформа ЖКХ, по сути, с теми же целями и задачами.

Экономика Республики Беларусь является экономикой с высокой долей государственного сектора и жесткой системой государственного регулирования, обеспечивающей социальную направленность политики белорусского государства. Социальная направленность государственной политики Республики Беларусь закреплена в Конституции и является приоритетом внутренней и экономической политики. Но так уж устроен человек, что для него дом, жилище являются неотъемлемой потребностью существования и своего собственного «Я». Поэтому одной из самых важных социальных гарантий государства является обеспечение граждан жильем и жилищно-коммунальными услугами, всеми условиями, необходимыми для комфортного проживания. Однако в своём выступлении на семинаре, проходившем 20 октября 2017 года в г. Минске, на тему «О совершенствовании и развитии жилищно-коммунального хозяйства страны» Президент Беларуси А. Г. Лукашенко отметил, что мониторинг удовлетворенности граждан качеством и объемом жилищно-коммунальных услуг показывает, что около 30 % граждан не довольны их качеством [19]. Речь Президента содержала анализ выявленных болевых точек и проблем системы ЖКХ и задачи, поставленные им перед предприятиями и руководством отрасли.

На роли и потенциале науки в улучшении качества работы отрасли ЖКХ и удовлетворенности населения Глава государства остановился особо: «...Без науки нельзя обойтись ни в одной отрасли, и ЖКХ в этом плане не исключение. Но реальность такова, что наука не участвует в этом процессе уже многие годы. Это единственная сфера, в которой сложилось такое положение дел...», – резюмировал Глава государства в конце своего выступления [19].

Авторы статьи считают, что именно наука должна иметь и в настоящее время действительно имеет такой ресурс, как знания, чтобы осуществлять обоснованный экономический анализ конкретных рыночных ситуаций, осуществлять системный мониторинг деятельности хозяйствующих субъектов на макро- и микро-экономическом уровнях, формировать систему управления их деятельностью, давать менеджменту научно обоснованный набор методологических принципов принятия решений на основе экономических критериев и показателей, разрабатывать рекомендации по выработке стратегии и тактики поведения на рынке.

Имея определенный практический опыт руководства различными предприятиями ЖКХ муниципального и регионального уровня, с одной стороны, и опыт создания автоматизированных систем различного уровня с другой – авторы вынуждены признать, что у менеджмента предприятий ЖКХ как двадцать лет назад, так и сегодня, к сожалению, зачастую какая-либо связь с представителями науки и необходимость участия их в производственной деятельности, как правило, отсутствует или осуществляется исключительно формально-го взаимодействия в ходе профильных научно-технических конференций либо других мероприятий. Отраслевой менеджмент относится к полезности науки, ее представителей и ресурсов скептически, видимо, в силу господствующего мнения об отрыве областей интереса ученых от проблем практики. Ведь ученые работают над выяснением закономерностей и не имеют

ограничений по времени для этого. Менеджмент же работает в жестком лимите обязательств и крайне ограничен во временных ресурсах. Поэтому и решения, которые менеджеры вынуждены принимать каждый день, зачастую принимаются на основании личного опыта, интуиции, ситуации, без опоры на науку.

К сожалению, следует признать следующую «циклическую проблему»: ресурс науки для повышения качества менеджмента отрасли ЖКХ используется неэффективно или не используется вовсе, прежде всего ввиду отсутствия понимания путей эффективного использования научного потенциала как ресурса в реальном секторе экономики.

С точки зрения авторов, кризисные условия экономики так или иначе всегда связаны с ресурсами, а точнее, с ситуацией неэффективного управления существующими ресурсами. Ведь дефицит ресурсов зачастую связан не с их отсутствием в принципе, а с недостаточной эффективностью их использования, управления ими и распределения. Свою научную позицию и подходы к решению проблем дефицита ресурсов авторы изложили в ряде своих работ [20–22].

Говоря об отрасли ЖКХ, стоит отметить, что данная отрасль в силу исторически сложившихся особенностей ее структуры, организационно-экономических основ функционирования, государственного регулирования, является одним из ярких примеров недостаточно высокой эффективности использования располагаемых экономических ресурсов, в том числе ресурса науки. Об этом говорят как критические замечания по результатам анализа деятельности отрасли со стороны руководства страны, так и постоянно обсуждаемые проблемы с поднятием тарифов на ЖКУ для населения до уровня 100 % их возмещения. С проблемой недостатка ресурсов можно связать, в конечном счете, и решения о прекращении программ проведения комплексных капитальных ремонтов жилых домов в сочетании с тепловой модернизацией, отнесение финансирования текущих ремонтов подъездов за счет средств граждан и многое другое.

Все причины таких проблем разом устранить сложно, а порой невозможно. Постараемся выявить «корневую» причину. Общеизвестно, что ведущую роль в функционировании любой сложной управляемой динамической системы играет система управления. Однако чтобы совершенствовать систему управления, нужно четко знать как ее цели, так и ее бизнес-процессы и понимать степень их соответствия целям и задачам этой системы.

Задача разработки методологии цифровой трансформации ЖКХ стала особенно актуальной для ученых, работающих в отрасли, в связи с целями и задачами, поставленными Президентом страны с 2017 по 2018 год по превращению Беларуси в IT-страну на основе приоритета цифровой трансформации экономики [15–19]. Необходимость обеспечения формализации всех элементов структуры системы и соответствующих им бизнес-процессов привела авторов к тому, чтобы взглянуть на сегодняшнюю структуру отрасли через призму теории эффективности бизнес-процессов и процессного подхода к оценке эффективности экономических систем, в т. ч. и возможностей применения такого радикального методического подхода, как реинжиниринг бизнес-процессов. Постановка вопроса о примене-

нии реинжиниринга, а не продолжение попыток совершенствования существующей функциональной структуры системы ЖКХ, связана с анализом условий, целей и задач, которые поставлены руководством страны, особенностями методологии цифровой трансформации, опытом развитых стран, прошедших или проходящих сегодня этот путь.

Если взглянуть в историю управленческой мысли, процессный подход появился совсем недавно – как диалектическое развитие научных методов по изучению структуры организации – в конце XIX века, сначала благодаря гению Ф.Тейлора, обосновавшего теорию эффективности функциональной специализации организации [23]. Уже после него А. Файоль разработал свой знаменитый список из 14 универсальных принципов менеджмента [24]. М. Вебер развил это учение, став основоположником теории бюрократии и объявил ее наиболее эффективным способом управления сложными организациями [25]. Идеи этих пионеров теории управления, развивших теорию функциональных организационных систем, во многом были опровергнуты сегодняшними теоретиками, но до сих пор оказывают огромное влияние на развитие организаций во всем мире. Но с развитием информационных технологий, увеличивающимся покрытием сети интернет и всё более растущей доступностью методов и инструментов цифровой трансформации, автоматизации уже давно подвергаются не только отдельные участки производства, но и в целом предприятия, системы управления ими, а также и целые отрасли, формируя виртуальные цепочки создания вполне реальной ценности для своих клиентов. Конкуренция и борьба за эффективность в условиях цифровой трансформации сделали главным объектом приложения усилий в автоматизации и цифровизации системы управления бизнес-процессами. Количество поставщиков решений как для описания, так и для моделирования, а также полноценного управления запускаемыми копиями процессов в организациях непрерывно растет. Компания Gartner регулярно делает свой анализ, представляя свой магический квадрант решений, за попадание в «лидеры» которого борются такие гиганты как IBM [26]. А их качество («зрелость») бизнес-процессов и их сбалансированность в компании стали определять потенциал организаций и возможности для развития и роста, адаптации и трансформаций, а также стало предметом бенчмаркинга [27].

Теория бизнес-процессов, или процессный метод, позволили выявить, что многие организационные проблемы имеют межфункциональную природу. Отвечая на вопрос применения этой теории на практике М. Хаммер и Д. Чампи предложили концепцию оптимизации бизнес-процессов, выделив восемь основных методов [28]: методику быстрого анализа решения (FAST); бенчмаркинг процесса; перепроектирование процесса; реинжиниринг процесса; методологию ABC / ABM; методологию «точно в срок» (JIT); методы всеобщего управления качеством (TQM); методы управления знаниями.

Рассматривая данную концепцию и методы с точки зрения применимости для системы ЖКХ, авторы считают, что это не только возможно, но вполне осуществимо уже сегодня. На основе данной концепции мы можем описать состояние нынешних процессов отрас-

ли, выделив подлежащие первоочередной цифровой трансформации, а также провести исследования в поисках оптимального метода такой трансформации.

Анализ процессов цифровой трансформации на основании описания ее результатов по данным, обобщенным в материалах Первой международной конференции «Научно-технический прогресс в жилищно-коммунальном хозяйстве», проведенной Институтом жилищно-коммунального хозяйства НАН Беларуси 3–4 октября 2019 года в г. Минске, приводит к выводу о том, что многие частные предприятия отрасли сегодня охвачены процессом «локальной» цифровой трансформации, основанном на самостоятельной инициативной деятельности, проводимом за счет собственных средств. Что касается государственных (коммунальных) предприятий, то они осуществляют цифровую трансформацию в основном в форме автоматизации процессов мониторинга технологических операций, контроля качества ресурсов и начислений за оказываемые услуги в рамках ограниченных бюджетных средств, выделяемых на эти цели. Обобщая полученную в ходе конференции информацию, можно сделать вывод, что централизованное управление процессами цифровой трансформации на уровне государственного регулятора организовано не оптимально и существует необходимость интеграции этих процессов с целью их согласования и повышения эффективности расходования ресурсов. Оценивая активность компаний отрасли в области цифровой трансформации, авторы берут на себя смелость заключить, что отрасль сегодня проходит этап пилотной или, скорее, «поскутной» цифровизации. Технологии, объекты и субъекты цифровой трансформации выбираются чаще всего менеджментом на свой страх и риск в рамках самостоятельно определяемых предположений об эффективности таких решений, планов, бюджетов и внутренних человеческих и иных материальных ресурсов. Аудит бизнес-процессов, как правило, не проводится, даже у предприятий, внедривших у себя системы менеджмента качества. Методологически такие внедрения могут быть оценены как использование инноваций на основе проектного подхода. С точки зрения процессного метода, методологию внедрения можно идентифицировать как метод «перепроектирования некоторых процессов», без, возможно, должного понимания такой деятельности в масштабе всей системы в целом.

Настораживает то, что многие предприятия занимаются одним и тем же, используют по-своему и адаптируют похожие программные средства и продукты автоматизации с целью оказания рынку «модных» и востребованных услуг. И практически сразу конкурируют между собой в их продаже. Подводя итог вышеприведенных рассуждений, можно сделать следующие выводы: цифровизация в отрасли проводится в инициативном порядке; потребные ресурсы на цифровизацию не определены и не спрогнозированы; процессный подход в оптимизации деятельности предприятий не используется или сводится к перепроектированию отдельных бизнес-процессов.

Мировой опыт, научный анализ и системный подход к оптимизации, говорят о наибольшей экономической эффективности применения в цифровой трансформации

методологии реинжиниринга процессов, основанного, прежде всего, на реинжиниринге системы управления предприятиями, организациями.

И вот почему. В отличие от других методов, перечисленных выше, реинжиниринг процесса наиболее радикальный. Этот подход обеспечивает свежий взгляд на цели процесса и может полностью игнорировать существующий процесс и структуру организации. На основании статистических данных, используемых М. Хаммером и Дж. Чампи [28] принято считать, что реинжиниринг процесса, если его проводить правильно, снижает затраты и длительность цикла на 60–90 % и уровень ошибок на 40–70 %. Авторы разделяют эту точку зрения и уверены, что прежде чем сосредоточить значительные ресурсы на улучшение процесса, необходимо максимально усовершенствовать систему управления им, а затем принимать решение о необходимости изменения (возможно, правильным решением будет избавиться от этого процесса в организации вообще, изменив технологию либо отдав его на аутсорсинг).

Что касается отрасли ЖКХ, нужно отметить, что, несмотря на все технологические, правовые и социальные изменения, которые произошли в нашем государстве в процессе трансформации из БССР в современную Беларусь, структура отрасли и управления ею осталась на уровне отраслевой структуры народного хозяйства СССР, так и не претерпев должных модернизаций, изменений и оптимизации. Но в СССР была государственная собственность на все производственные и жилые фонды и обязанность государства по обеспечению их надлежащего содержания и эксплуатации. В условиях же проведенных в суверенной Беларуси реформ в области прав собственности на объекты недвижимости (приватизации более 90 % жилья) система ЖКХ требует изменений. Из теории известно, что в условиях эволюции любая социально-экономическая система приспосабливается к изменениям: меняет структуру управления, модернизирует элементы, устанавливает эффективные взаимосвязи между ними, оптимизируется. Анализируя структуру и содержание государственного управления и регулирования ЖКХ за период с 1991 года по настоящее время, можно сделать вывод, что, хотя отраслевой справочник видов деятельности давно отменен, мы зачастую по-прежнему слышим, что ЖКХ – это отрасль, в то время как в Положении о Министерстве ЖКХ определяется как «система». Причиной разночтений, на взгляд авторов, являются издержки при проведении гармонизации наших общегосударственных классификаторов, в том числе, классификаторов видов экономической деятельности с общеевропейскими принципами и стандартами. Это привело к тому, что в данных Национального статистического комитета Беларуси [29] отрасль ЖКХ, показатели и результаты деятельности ее предприятий с 2011 года просто исчезли, растворившись в показателях смежных отраслей.

Существенной проблемой является и то, что предприятия отрасли ЖКХ призваны обслуживать объекты строительства, передаваемые им в эксплуатацию застройщиками (заказчиками), строительными организациями, деятельность которых регулируется другим министерством, взаимодействие с которым требует совершенствования. Проблемными с точки зрения раз-

деления зон ответственности между министерствами являются и процессы взаимодействия системы ЖКХ с предприятиями энергетики, дорожной инфраструктуры, телекоммуникаций.

Однако цифровая трансформация требует полной определенности всех процессов. Иначе такая трансформация будет или невозможна, или неэффективна. Поэтому, по мнению авторов, альтернативы реинжинирингу процессов в отрасли нет.

Заключение. Цифровая трансформация процессов управления и государственного регулирования отрасли ЖКХ содержит в себе неограниченный потенциал сокращения издержек на содержание инфраструктуры, основных фондов, персонала отрасли ЖКХ, который возможно реализовать за счет оптимизации на основе использования методологии реинжиниринга процессов.

Ожидаемые бонусы в виде прозрачности и персонализации затрат потребителей на ЖКУ, возможностей по их строгому учету, контролю и экономии, стабилизации тарифов на услуги предприятий ЖКХ на длительную перспективу, повышения качества услуг, степени информированности потребителей, в конечном итоге, приведут к повышению социальной удовлетворенности граждан, а также сделают страну в целом еще более инвестиционно привлекательной для внешних инвесторов.

На этапе подготовки и проведения цифровой трансформации действующая модель и структура управления и регулирования системой ЖКХ требует совершенствования и оптимизации на основе методологии реинжиниринга процессов, что и было бы реальной практико-ориентированностью в условиях стремительного движения к «Индустрии 4.0» через цифровую трансформацию всех отраслей экономики [30], обеспечило бы движение к необходимому уровню зрелости процессов, связанных с управлением бизнес-процессами как на уровне отдельных предприятий и отраслей, так и на уровне всего государства [31]. Безусловно, для этого необходимо изучать лучший международный опыт, в т. ч. инициировать и поддерживать на системном уровне контакт с соответствующими профессиональными организациями в сфере управления бизнес-процессами [32].

Список литературы

- 1 Ишмуратов, А. Р. Реинжиниринг бизнес-процессов в жилищной сфере : дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05 / А. Р. Ишмуратов. – Екатеринбург : Уральский государственный технический университет, 2009. – 173 с.
- 2 Гребенюк, Д. С. Развитие системы управления услугами жилищно-коммунального хозяйства на основе процессного подхода : дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05 / Д. С. Гребенюк. – Самара : Самарский государственный экономический университет, 2011. – 181 с.
- 3 Фролов, Д. В. Правовая поддержка реинжиниринга в ЖКХ / Д. В. Фролов, М. В. Шевченко // KANT. – 2014. – № 3. – С. 72–78.
- 4 Инженерно-монтажный центр ICS Pro [Электронный ресурс] : офиц. сайт. – М., 1994. – Режим доступа : <https://www.icsgroup.ru/engineer/technology/integral3p/>. – Дата доступа: 02.10.2019.
- 5 OpenBIM [Электронный ресурс] : офиц. сайт. – М., 2007. – Режим доступа : <https://openbim.ru/events/news/20140910-0937.html>. – Дата доступа : 02.10.2019.

6 Белов, В. Б. Новая парадигма промышленного развития Германии – стратегия «Индустрия 4.0» / В. Б. Белов // Современная Европа [Электронный ресурс]. – 2016. – № 5 (71). – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/novaya-paradigma-promyshlennogo-razvitiya-germanii-strategiya-industriya-4-0>. – Дата доступа: 02.10.2019.

7 Тарасов, И. В. Индустрия 4.0: понятие, концепции, тенденции развития / И. В. Тарасов // Стратегии бизнеса [Электронный ресурс]. – 2018. – № 6 (50). – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/industriya-4-0-ponyatie-kontseptsii-tendentsii-razvitiya>. – Дата доступа : 02.10.2019.

8 Юдина, М. А. Индустрия 4.0: перспективы и вызовы для общества / М. А. Юдина // Государственное управление. Электронный вестник [Электронный ресурс]. – 2017. – № 60. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/industriya-4-0-perspektivy-i-vyzovy-dlya-obschestva>. – Дата доступа : 02.10.2019.

9 Зубрицкая, И. Концепция «Индустрия 4.0» и предпосылки ее применения в отечественной промышленности / И. Зубрицкая // Наука и инновации [Электронный ресурс]. – 2018. – № 185. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-industriya-4-0-i-predposylki-ee-primeneniya-v-otchestvennoy-promyshlennosti>. – Дата доступа : 02.10.2019.

10 / ЖКХ портал РФ: справочно-информационная служба. [Электронный ресурс] – М., 2001. – Режим доступа : <https://zhkxportal.rf/reforma.html>. – Дата доступа : 02.10.2019.

11 ИС-Рарус Центр отраслевой подготовки [Электронный ресурс] : офиц. сайт. – Йошкар-Ола, 1994. – Режим доступа : <https://vgkh.ru/articles/reforma-zhkh/>. – Дата доступа : 02.10.2019.

12 Портал коммунальной грамотности [Электронный ресурс] / М-во жилищно-коммун. хоз-ва Респ. Беларусь. – Минск, 2005. – Режим доступа : <http://gkx.by/novosti/ofitsialno/2630-v-belarusi-sozdaetsya-respublikanskaya-sistema-monitoringa-priema-i-ispolneniya-pretenzij-grazhdan-na-kachestvo-zhku>. – Дата доступа : 02.10.2019.

13 Портал коммунальной грамотности [Электронный ресурс] / М-во жилищно-коммун. хоз-ва Респ. Беларусь. – Минск, 2005. – Режим доступа : <http://gkx.by/poleznye-sovety/2632-na-elektronnye-zhrovki-pereshli-uzhe-okolo-25-tysyach-minchan>. – Дата доступа : 02.10.2019.

14 Портал коммунальной грамотности [Электронный ресурс] / М-во жилищно-коммун. хоз-ва Респ. Беларусь. – Минск, 2005. – Режим доступа : <http://gkx.by/novosti/2642-professiya-budushchego-cto-takoj-bim-master>. – Дата доступа : 02.10.2019.

15 О развитии цифровой экономики : декрет № 8 от 21 дек. 2017 г. [Электронный ресурс] / Офиц. интернет-портал Президента Респ. Беларусь. – Минск, 2005. – Режим доступа : http://president.gov.by/ru/official_documents_ru/view/dekret-8-ot-21-dekabrya-2017-g-17716/. – Дата доступа : 02.10.2019.

16 О создании Совета по развитию цифровой экономики : постановление Совета Министров, 28 февр. 2018 г., № 167 [Электронный ресурс] / Офиц. сайт Правительства Респ. Беларусь. – Минск, 2001. – Режим доступа : <http://government.by/ru/solutions/3144>. – Дата доступа : 02.10.2019.

17 Выступление Президента Республики Беларусь Лукашенко А. Г. на II Съезде ученых Беларуси [Электронный ресурс] / БЕЛТА. – Минск, 2017. – Режим доступа : <https://www.belta.by/president/view/vystuplenie-lukashenko-na-ii-sjezde-uchenyh-belarusi-280351-2017/>. – Дата доступа : 02.10.2019.

18 Техническое нормирование и стандартизация в Республике Беларусь. [Электронный ресурс] / Госстандарт Респ. Бела-

рус. – Минск, 2001. – Режим доступа : <https://stb.by/Stb/TKDetail.php?UrlStr=1941/>. – Дата доступа : 02.10.2019.

19 Выступление Президента Республики Беларусь Лукашенко А. Г. на республиканском семинаре на тему «О совершенствовании и развитии жилищно-коммунального хозяйства страны» [Электронный ресурс] / БЕЛТА. – Минск, 2017. – Режим доступа : <https://www.belta.by/president/view/vystuplenie-lukashenko-na-respublikanskom-seminare-o-sovershenstvovanii-i-razviti-i-zhilishchno-272418-2017/>. – Дата доступа : 02.10.2019.

20 Примак, Ю. Д. Новые теоретические подходы к решению экономической проблемы дефицита ресурсов / Ю. Д. Примак // Новости науки и технологий. – 2018. – № 4 (47). – С. 18–25.

21 Лукьянов, Д. В. Управление вовлеченностью сотрудников образовательных учреждений / Д. В. Лукьянов, В. Д. Гогунский // Управління проектами: стан та перспективи : матеріали XV Міжнарод. наук.-практ. конф. – Николаев: НУК, 2019. – С. 43–44.

22 Лукьянов, Д. В. Трансформация командных ролей в управленческих командах в цифровую эпоху / Д. В. Лукьянов, Т. М. Гогунский, В. Д. Олех // Управління проектами у розвитку суспільства : матеріали XVI Міжнарод. наук.-практ. конф. – Киев : КНУБА, 2019. – С. 155–156.

23 The Principles of Scientific Management / F. W. Taylor [et al.] // History of Economic Thought Books. – 1911.

24 Мескон, М. Х. Основы менеджмента : пер. с англ. / М. Х. Мескон, М. Альберт, Ф. Хедоури. – М. : Дело, 1992. – 68 с.

25 Серкина, Н. Е. Теория бюрократической рационализации Макса Вебера и ее вклад в парадигму индустриального общества / Н. Е. Серкина // Logos et Praxis. – 2017. – № 1. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/teoriya-byurokraticheskoy-ratsionalizatsii-maksa-vebera-i-ee-vklad-v-paradigmu-industrialnogo-obschestva>. – Дата доступа : 02.10.2019.

26 IBM [Электронный ресурс] : офиц. сайт. – USA. – Режим доступа : <https://www.ibm.com/blogs/cloud-computing/2019/02/20/intelligent-business-process-management-suite-ibpms/>. – Дата доступа : 02.10.2019.

27 APQC [Электронный ресурс] : офиц. сайт. – USA. – Режим доступа : <https://www.apqc.org/process-performance-management/process-frameworks>. – Дата доступа : 02.10.2019.

28 Хаммер, М. Реинжиниринг корпорации. Манифест революции в бизнесе : пер. с англ. / М. Хаммер, Дж. Чампи. – СПб. : Изд-во СПб. ун-та, 1997. – 332 с.

29 Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс] : офиц. сайт. – Режим доступа : <http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/>. – Дата доступа : 02.10.2019.

30 Научно-исследовательский центр ЖКХ при НАН будет максимально практико-ориентированным : интервью министра ЖКХ Респ. Беларусь А. А. Терехова. [Электронный ресурс] / БЕЛТА. – Минск, 2018. – Режим доступа : <https://www.belta.by/society/view/nauchno-issledovatel'skij-tsentr-zhkh-pri-nan-budet-maksimalno-praktiko-orientirovannym-terehov-282850-2018/>. – Дата доступа : 02.10.2019.

31 Цифровая трансформация экономики: Беларусь готова, но не созрела [Электронный ресурс] / Белрынок. – Минск, 2018. – Режим доступа : <https://www.belrynok.by/2018/06/04/tsifrovaya-transformatsiya-ekonomiki-belarus-gotova-no-ne-sozrela/>. – Дата доступа : 02.10.2019.

32 ABPMP International [Электронный ресурс] : офиц. сайт. – Pensacola. – Режим доступа : <https://www.abpmp.org/>. – Дата доступа : 02.10.2019.

Получено 28.10.2019

Y. D. Primak, D. V. Lukianov. Digital transformation based on business process re-engineering.

The article considers the possibility and necessity of applying the method of business process reengineering as one of the most effective methods for changing enterprises in any field of activity during the digital transformation of the housing and utilities sector. In this article, the authors consider the features and capabilities of digital transformation in one of the most complex and important, socially significant sectors of the national economy - the housing and utilities sector.

ЭКОЛОГИЯ

УДК 502.3

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ОТ ТРАНСПОРТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Приведены результаты исследований изменения уровня экологической нагрузки на окружающую среду от транспортной деятельности. Рассматриваются условия и механизм управления уровнем экологических выбросов в окружающую среду от мобильных и стационарных источников. Предлагается расширение методического обоснования расчетов выбросов вредных веществ от мобильных источников транспортной деятельности и получаемых в процессе технической эксплуатации транспортных средств. Рассматриваются результаты исследований данной проблемы учеными различных стран и использования опыта её решения в Республике Беларусь. Оценивается возможность снижения экологической нагрузки от транспортной деятельности в Республике Беларусь и приводятся методические основы, обеспечивающие эти возможности.

Экологическая нагрузка на окружающую среду от транспортной деятельности связана в первую очередь с загрязнением от мобильных и стационарных источников. Загрязнение – это привнесение в территориальную экологическую систему новых, не свойственных ей физических, химических и биологических компонентов или увеличение их концентрации по сравнению с естественным уровнем, что приводит территориальную экосистему к разрушению или снижению её продуктивности. При этом создаётся окружающая среда, опасная для жизнедеятельности человека после транспортной деятельности на территории. Рассмотрим виды загрязнений от транспортной деятельности.

Ингредиентное – наступает при поступлении в экосистему веществ, вызывающих изменения механического или химического свойства. К ним отнесены продукты переработки, бытовой мусор, сточные воды.

Параметрическое – представляет собой изменение физических параметров окружающей среды. Влияют на естественно сложившиеся параметры среды и оказывают угнетающее и дискомфортное воздействие на живые организмы шумовое, тепловое, электромагнитное, радиационное виды параметрического загрязнения. При выполнении транспортной деятельности рассчитывается для типовых технологических схем при максимальном скоплении работающей техники на территории транспортной организации.

Расчёт выбросов загрязняющих веществ выполняют для худшей ситуации – максимального мытья автотранспортных средств (в период плохих погодных условий, ремонта транспортных средств с повышенным техническим износом и др.). Объёмы выбросов регулируются законодательством Республики Беларусь [1–3].

Биоценическое загрязнение представляет собой изменение состава и структуры популяций. Связано с фактором психофизического воздействия на живые организмы, излишнего беспокойства и акклиматизации (при выполнении перевозок в различные климатические зоны). Рассматриваются загрязнения литосферы (почвы), атмосферы (воздуха), гидросферы (водоёмов), энергетические.

При этом виды биоценического загрязнения имеют структурные компоненты:

– *литосферы* – промышленные отвалы и свалки; бытовые свалки; радиоактивные отходы;

– *атмосферы* – промышленные дымы и пыль, ядовитые газы, радиоактивные газы;

– *гидросферы* – промышленные стоки, отходы нефтепродуктов, свалки старой техники и транспортных средств;

– *энергетического загрязнения* – повышенные электромагнитные поля, тепловые выбросы, радиоактивное излучение, производственный шум.

Ландшафтное загрязнение связано с разрушением естественного состояния экологических систем на территории транспортной деятельности в результате дорожного строительства, вырубки леса, добычи торфа для отопления транспортных объектов и др. При нём происходит увеличение концентрации вредных веществ и естественных фоновых, чуждых ландшафту веществ, организмов и источников энергии под влиянием антропогенных и природных факторов. При взаимодействии компонентов ландшафта загрязнение одного из них вызывает загрязнение других компонентов (растительности, почвы) охватывая весь ландшафт.

Долевое распределение по видам деятельности представлено на рисунке 1.

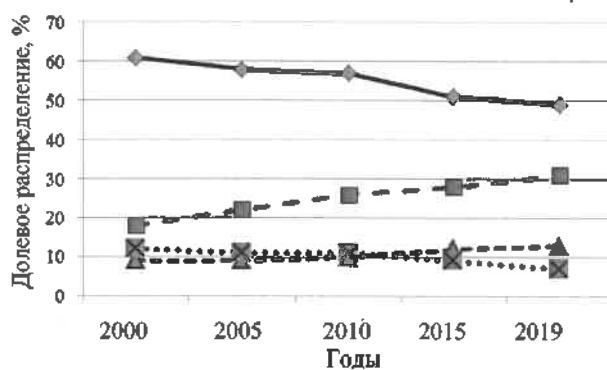


Рисунок 1 – Динамика долевого распределения видов загрязнений:

— ингредиентное; параметрическое; - - - биоценическое; ландшафтное

Из приведенных на рисунке 1 диаграмм видно, что ингредиентное загрязнение снижается, но параметрическое возрастает. При этом в ингредиентном загрязнении доле-

вое распределение по структурным элементам соответствует диаграммам, показанными на рисунке 2.

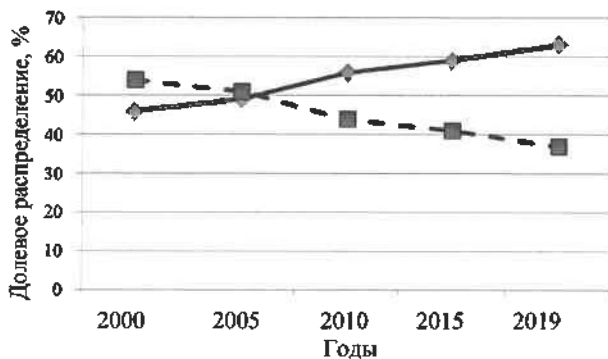


Рисунок 2 – Динамика долевого распределения ингредиентного загрязнения:
 — органическое; - - - минеральное

Объемы органических загрязняющих веществ возрастают более активно в процессе транспортной деятельности по сравнению с минеральными веществами.

Инженерные задачи транспортной экологии предусматривают инженерно-технические решения:

а) оптимизация качества работы транспортного комплекса по заданным экологическим критериям и стандартам (экологической устойчивости транспортной системы региона);

б) выполнение принципиальных условий создания экологически чистого транспортного комплекса по критериям качественно-количественной минимизации техногенных нагрузок на компоненты природного ландшафта от транспортной деятельности.

В процессе выполнения транспортной деятельности практически неизбежны экологические потери, обусловленные следующими обстоятельствами:

– непосредственное воздействие транспортных процессов на окружающую среду транспортных средств, персонала, источников энергии;

– необходимое использование объектов природы в регионе транспортной деятельности в качестве дополнительных условий – использования природных ресурсов в технологическом цикле.

В процессе выполнения транспортной деятельности воздействие транспорта на экосистемы регулируется европейскими стандартами [4, 5] и выражается в следующем:

– в загрязнении атмосферы, водных объектов и земель, изменении химического состава почв и микрофлоры, образовании производственных отходов, токсичных шламов, замасоченного грунта;

– потреблении природных ресурсов – атмосферного воздуха, нефтепродуктов и природного газа, воды (для системы охлаждения двигателей, санитарно-гигиенической обработки транспортных средств и производственных площадей, потребностей станочного парка, земельных ресурсов, отчуждаемых под производственные нужды транспортных организаций и размещение объектов транспортной инфраструктуры;

– выделении тепла в атмосферу;

– производстве шума и вибрации при движении транспортных средств;

– активизации неблагоприятных природных процессов: заболоченности, загрязнении дренажных систем и вывод их из рабочего функционирования;

– травматизме людей и животных, нанесении ущерба при авариях и катастрофах.

Основная масса вредных веществ от транспортной деятельности выбрасывается в населенных пунктах. При выполнении транспортной деятельности в грузовом секторе перевозок источники загрязнений классифицируются следующим образом:

1) *мобильные:*

а) двигатели внутреннего сгорания;

б) отходы технической эксплуатации;

в) продукты сжигания топлива;

г) от замены масел и смазок;

д) утилизация шин;

е) очистка от ранее перевозимых грузов;

ж) мытье автомобиля;

2) *стационарные:*

а) сброс отходов жизнедеятельности предприятия;

б) водоснабжение и водоотведение;

в) промышленные отходы и свалки.

Специфика мобильных источников загрязнений проявляется:

– в высоких темпах роста численности автотранспортных средств и роста объема перевозок грузов автотранспортом;

– территориальном рассредоточении транспортных средств;

– непосредственной близости к размещению населения (жилым зонам, местам отдыха);

– технической и технологической сложности реализации средств и мероприятий защиты от загрязнения;

– низком расположении источника загрязнения и его высокой мобильности, в результате чего создается высокая концентрация газов в зоне дыхания людей и слабое рассеивание ветром по сравнению с выбросами от стационарных источников.

Для оценки уровня экологического воздействия транспортной деятельности на окружающую среду используются следующие интегрированные характеристики:

– абсолютные потери окружающей среды выражаемые в конкретных единицах измерения;

– компенсационные возможности экосистем, характеризующие их восстанавливаемость в естественном или искусственном режиме, создаваемом принудительно;

– опасность нарушения природного баланса, возникновения неожиданных потерь и локальных экологических нарушений, которые могут вызвать экологические риски;

– уровень экологических потерь, вызываемых воздействием объектами транспортной деятельности.

За последние 20 лет изменилась структура выбросов вредных веществ в окружающую среду от мобильных источников. С учетом внедрения современных транспортных средств в перевозочный процесс и технологий по их эксплуатации более высокий процент выбросов от двигателей внутреннего сгорания.

Так, если в 2000 г. выбросы от ДВС составили 54 %, а отходы от технической эксплуатации – 46 %, то в 2019 г. –

37 и 63 % соответственно. Таким образом, снижение выбросов от двигателей внутреннего сгорания – за 20 лет соответственно на 17 % при росте плотности движения грузовых автомобилей автомобилей в 1,7 раза.

Снижение выбросов загрязняющих веществ при выполнении технической эксплуатации с транспортными средствами связано с использованием более современных очистных сооружений у автотранспортных организаций, современных технологий утилизации средств технической обработки.

Исследование загрязнений от стационарных источников автотранспортной деятельности показало следующее (рисунок 3):

- сброс отходов жизнедеятельности транспортного предприятия стал существенно снижаться, что связано в первую очередь с многократным использованием материалов и смазок при выполнении ремонтов транспортных средств;

- в части водоснабжения и водоотведения выбросы загрязняющих веществ возрастают, что связано с увеличением потребления водных ресурсов и недостаточно качественным состоянием очистных сооружений;

- промышленные отходы и свалки существенно снижены за последние 20 лет.

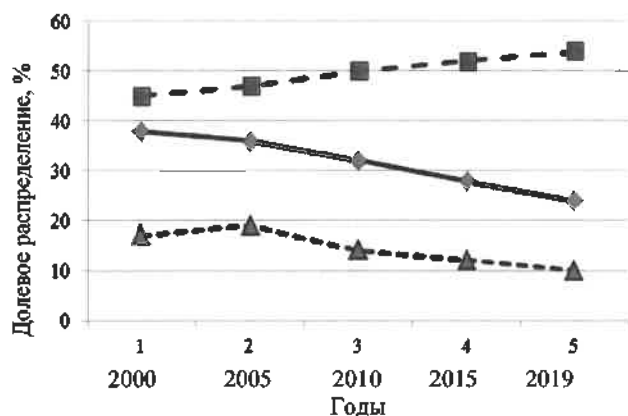


Рисунок 3 – Динамика выбросов от стационарных источников:
 — сброс отходов жизнедеятельности предприятия;
 - - - - водоснабжение и водоотведение; – промышленные отходы и свалки

При выполнении расчетов вредных выбросов от мобильных источников в транспортной деятельности следует учитывать их многообразие:

- а) выхлопы от сжигания топлива различного типа (дизельного, бензинов с различным октановым числом);
- б) утилизация отработанных масел и охлаждающих жидкостей;
- в) утилизация шин, подлежащих замене;
- г) загрязнение окружающей среды от ремонтного производства.

Выбросы от мобильных источников рассчитываются по нормативам загрязнения от каждого вида загрязняющего элемента. Для их результативной и сравнительной оценки требуется интеграция полученных результатов. Интегрированная оценка вредных выбросов от мобильных источников при выполнении транспортной деятельности в мировой практике выполняются по двум показателям:

- параметрическим показателям долевого изменения каждого показателя рассчитывается соответствующий процент;

- финансовой оценке каждого элемента загрязнения окружающей среды.

По параметрическим показателям загрязнения окружающей среды его оценка делается следующим образом:

$$q_{\text{мн}}^{\text{пр}} = \sum_{k=1}^n (\mu_k^{\text{тп}} D_k^{\text{тп}}) + \sum_{k=1}^n (\mu_k^{\text{см}} S_k^{\text{см}}) + \sum_{k=1}^n \Delta Q_k + \sum_{k=1}^n (\mu_k^{\text{рем}} \Delta R_k^{\text{рем}}),$$

где $\mu_k^{\text{тп}}$, $\mu_k^{\text{см}}$, $\mu_k^{\text{рем}}$ – долевое загрязнение окружающей среды от транспортной деятельности: процент выбросов от сжигания k -го вида моторного топлива, используемого при выполнении перевозок; процент утилизации смазок k -го вида; процент утилизации шин k -го типа; процент выбросов от выполнения ремонта и технической эксплуатации автомобиля; $D_k^{\text{тп}}$ – затраты топлива на выполнение перевозки; $S_k^{\text{см}}$ – объемы смазок и охлаждающих жидкостей, использованных при выполнении перевозки; ΔQ_k – масса утилизации шин, использованных при выполнении перевозки; $\Delta R_k^{\text{рем}}$ – объем ремонтных работ, относимый на выполнение перевозки.

Анализ интегрированной оценки вредных выбросов от мобильных источников при выполнении транспортной деятельности показал, что такая оценка может быть целесообразной при формировании пакета заказов на перевозки грузов для транспортных организаций. При этом в качестве управляющей переменной может рассматриваться объем перевозок, трансформированный в автомобиле-километры, необходимые для его выполнения.

Модель расчета объема выбросов загрязняющих веществ от перевозки грузов приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Модель расчета объема загрязняющих веществ от перевозки грузов

Наименование загрязнения	Значение
Автомобиле-километры	5036,8
Затраты топлива, л	604,42
Выбросы продуктов сгорания топлива, кг	85,83
Расход смазок, л	38,68
Объем смазок к утилизации, кг	8,28
Масса колес, подлежащих утилизации, кг	7,51
Количество ТО и ТР при выполнении перевозки	4,2
Загрязнение от выполнения ТО, кг/1 ТО	15,95
Итого загрязняющих веществ, кг	94,11
Интегральный показатель	117,57

При одинаковых затратах автомобиле-километров на выполнение перевозок имеет место изменение величины выбросов загрязняющих веществ. По результатам исследований, выполненных на автотранспортном предприятии, для одного и того же маршрута, но при различных параметрах автотранспортных средств изменяется объем выбросов по параметрическим показателям. С использованием модели, приведенной в таблице 1, исследовано изменение показателя (таблица 2).

Таблица 2 – Модель изменения параметрических показателей выбросов загрязняющих веществ

Показатель	2000	2005	2010	2015	2019
Выбросы продуктов сгорания топлива, кг	96,1	93,6	92,7	89,3	85,8
Объем смазок к утилизации, кг	9,3	9,0	8,9	8,6	8,3
Масса колес, подлежащих утилизации, кг	8,5	8,3	8,2	7,8	7,5
Загрязнение от выполнения ТО, кг/1 ТО	18,7	18,2	17,7	17,4	16,0

При этом в соответствии с таблицей 2 имеет место изменение показателей [12]:

- выбросы продуктов сгорания топлива: изменяются в зависимости от использования автомобиля по параметру затраты топлива в сторону уменьшения;
- объем смазок, подлежащих утилизации, увязан с объемом потребления топлива на движение автомобиля;
- масса колес, подлежащих утилизации, зависит от марки колес и норматива их пробега. С учетом повышения качества производимых колес в Республике Беларусь увеличен норматив их пробега;
- загрязнение от выполнения ТО и ТР увязано с качеством их производства, состоянием автодорог, по которым производится перевозка.

При выполнении финансовой оценки загрязнения окружающей среды от мобильных источников рассчитывается доля расходов, относимых на экологию, от затрат на перевозку, относимых на автомобильно-километры,

$$F_{\text{мн}}^{\text{нр}} = \frac{\sum_{k=1}^n (\varphi_k^{\text{тп}} F_k^{\text{тп}}) + \sum_{k=1}^n (\varphi_k^{\text{см}} F_k^{\text{см}}) + \sum_{k=1}^n (\varphi_k^{\text{ш}} F_k^{\text{ш}}) + \sum_{k=1}^n (\varphi_k^{\text{рем}} F_k^{\text{рем}})}{F_k^{\text{тп}} + F_k^{\text{см}} + F_k^{\text{ш}} + F_k^{\text{рем}}},$$

где $\varphi_k^{\text{тп}}, \varphi_k^{\text{см}}, \varphi_k^{\text{ш}}, \varphi_k^{\text{рем}}$ – доля расходов, относимых на экологию от затрат на перевозку, адекватная проценту выбросов от сжигания моторного топлива, утилизации смазок, шин, технологических отходов, получаемых от выполнения ремонта и технической эксплуатации автомобиля; $F_k^{\text{тп}}, F_k^{\text{см}}, F_k^{\text{ш}}, F_k^{\text{рем}}$ – расходы, относимые на топливо, смазки, шины и ремонты.

Проведенные исследования для равнозначных условий оценки вредных выбросов показали, что в результате выполнения перевозки одинакового объема грузов по рассматриваемому маршруту, выделяется 79,17 руб., относимых на утилизацию загрязняющих веществ, получаемых от мобильных источников. При этом финансирование, приходящееся на одну тонну перевезенного груза, составляет 0,76 руб.

По результатам выполненных в БелГУТе исследований за период 2000–2019 гг. выделена динамика показателя для условий, аналогичных приведенным в таблице 1 (рисунок 4).

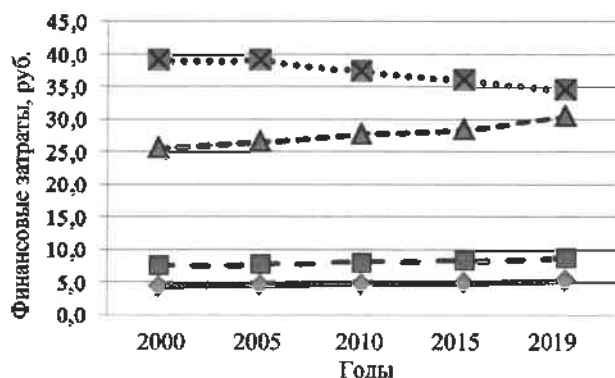


Рисунок 4 – Динамика выбросов по финансовым показателям:

- от утилизации смазок и охлаждающих жидкостей;
- – сжигания топлива; – утилизации колес;
- - - - проведения ТО и ТР

Оценка вредных выбросов, отнесенных на выполнение грузовых перевозок, может привязываться к разделу общехозяйственной и административной деятельности транспортной организации [7, 10]:

а) в объемных показателях

$$q_{\text{си}}^{\text{нр}} = \sum_{k=1}^n (\alpha_{\text{адм}}^{\text{вб}} q_{\text{пер}}^{\text{вб}}) + \sum_{k=1}^n (\alpha_{\text{охр}}^{\text{вб}} q_{\text{пер}}^{\text{вб}}),$$

где $\alpha_{\text{адм}}^{\text{вб}}, \alpha_{\text{охр}}^{\text{вб}}$ – долевое значение вредных выбросов (отходов от производственной деятельности транспортной организации) по административной и общехозяйственной деятельности; $q_{\text{пер}}^{\text{вб}}$ – объем вредных выбросов при выполнении перевозки грузов;

б) в денежных единицах

$$F_{\text{си}}^{\text{нр}} = \sum_{k=1}^n (\varphi_{\text{адм}}^{\text{вб}} F_{\text{пер}}^{\text{вб}}) + \sum_{k=1}^n (\varphi_{\text{охр}}^{\text{вб}} F_{\text{пер}}^{\text{вб}}),$$

где $\varphi_{\text{адм}}^{\text{вб}}, \varphi_{\text{охр}}^{\text{вб}}$ – долевое значение финансовой оценки за вредные выбросы (отходов от производственной деятельности транспортной организации) по административной и общехозяйственной деятельности; $F_{\text{пер}}^{\text{вб}}$ – объем финансовых средств за утилизацию вредных выбросов при выполнении перевозки грузов.

При наличии объема вредных выбросов – 117,56 кг и финансовых затратах на утилизацию вредных выбросов 79,17 руб. расчёт оценки вредных выбросов от стационарных источников при выполнении перевозки включает последовательность:

- 1) в объемных единицах, кг:
 - а) по общехозяйственной деятельности – $117,56 \times 20,50 / 100 = 24,10$;
 - б) по административной деятельности – $117,56 \times 7,12 / 100 = 8,37$;
- 2) в денежных единицах, руб.:
 - а) по общехозяйственной деятельности – $79,17 \times 20,50 / 100 = 16,23$;
 - б) по административной деятельности – $79,17 \cdot 7,12 / 100 = 5,54$.

Модель расчетов оценочных показателей вредных выбросов от стационарных источников приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Модель расчетов оценочных показателей вредных выбросов от стационарных источников

Показатель	Значение
В объемных единицах, кг:	
по общехозяйственной деятельности	24,10
административной деятельности	8,37
Итого	32,47
В денежных единицах, руб.:	
по общехозяйственной деятельности	16,23
административной деятельности	5,64
Итого	21,87

Согласно расчетам в результате выполнения перевозки грузов по рассматриваемому маршруту от стационарных источников выделяется 32,47 кг загрязняющих веществ. При этом выполняется расчет финансовой оценки за утилизацию вредных выбросов в размере 21,87 руб.

Так, суммарный выброс загрязняющих веществ при выполнении перевозки 104 т грузов автомобильным транспортом составляет в измерителях:

- объемных – 117,56 + 32,47 = 150,03 кг;
- денежных – 79,17 + 21,87 = 101,04 руб.

Выполняется интегральная оценка вредных веществ при перевозке грузов [10]:

- в объемных измерителях –

$$\omega_{\text{сн}}^{\text{пр}} = \frac{\sqrt{q_{\text{ми}}^{\text{пр}} + q_{\text{сн}}^{\text{пр}}}}{q_{\text{ми}}^{\text{пр}}} + \frac{\sqrt{q_{\text{ми}}^{\text{пр}} + q_{\text{сн}}^{\text{пр}}}}{q_{\text{сн}}^{\text{пр}}},$$

где $q_{\text{ми}}^{\text{пр}}$, $q_{\text{сн}}^{\text{пр}}$ – объем выбросов вредных веществ при перевозке грузов от мобильных и стационарных источников;

- в денежных измерителях –

$$\varphi_{\text{сн}}^{\text{пр}} = \frac{\sqrt{F_{\text{ми}}^{\text{пр}} + F_{\text{сн}}^{\text{пр}}}}{F_{\text{ми}}^{\text{пр}}} + \frac{\sqrt{F_{\text{ми}}^{\text{пр}} + F_{\text{сн}}^{\text{пр}}}}{F_{\text{сн}}^{\text{пр}}},$$

где $F_{\text{ми}}^{\text{пр}}$, $F_{\text{сн}}^{\text{пр}}$ – финансовая оценка выбросов вредных веществ при перевозке грузов от мобильных и стационарных источников.

При наличии 1) объема вредных выбросов, кг: от мобильных источников – 117,56, стационарных – 32,47; 2) финансовых затрат на утилизацию вредных выбросов, руб.: от мобильных источников – 79,17, стационарных – 21,87 можно дать интегральную оценку вредных выбросов при перевозке грузов:

- а) в объемных измерителях

$$\omega_{\text{сн}}^{\text{пр}} = \frac{\sqrt{117,56 + 32,47}}{117,56} + \frac{\sqrt{117,56 + 32,47}}{32,47} = 0,48;$$

- б) в денежных измерителях

$$\varphi_{\text{сн}}^{\text{пр}} = \frac{\sqrt{79,17 + 21,87}}{79,17} + \frac{\sqrt{79,17 + 21,87}}{21,87} = 0,59.$$

Интегральная оценка вредных выбросов при перевозке грузов автомобильным транспортом позволяет выбрать условия транспортной деятельности перевозчика и контролировать объем вредных выбросов, регулируя влияющие элементы перевозочного процесса.

Исследования интегральной оценки вредных выбросов в зависимости от влияющих факторов показаны на рисунке 5.

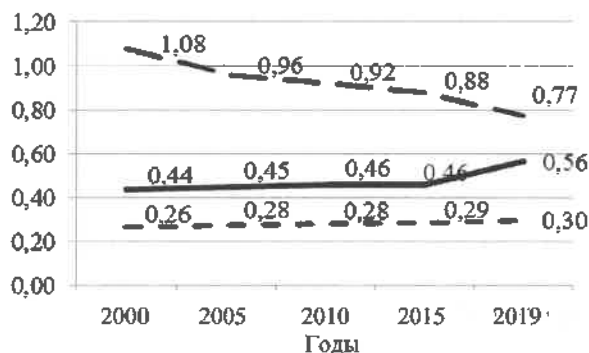


Рисунок 5 – Динамика интегральной оценки вредных выбросов от транспортной деятельности:

- — — интегральная;
- — — от стационарных источников;
- · - от мобильных источников

По результатам выполненных расчетов можно отметить, что выполнение перевозки грузов по рассматриваемому маршруту обеспечит интегральную оценку в объемных показателях – 0,48; в денежных показателях – 0,59.

С учетом того, что в мировой практике автомобилестроения и эксплуатации автомобилей достигнуты определенные успехи в области экологической безопасности, то при выполнении оценки вредных выбросов по нескольким вариантам лучшим определяется тот, у которого меньшее число интегральной оценки [9].

При оценке принимаются нормы на токсичные выбросы автомобилей. Эти нормы поэтапно ужесточаются. Для обеспечения нормативов производится техническое совершенствование автомобильных двигателей, применяются нейтрализаторы отработавших газов, новые виды топлив, «гибридные» автомобили и электро-мобили и др.

Заключение.

Инженерные задачи транспортной экологии могут решаться в комплексе интегральной оценки экологических выбросов по расширенной их номенклатуре с выделением наиболее опасных для окружающей среды.

Использование интегральной оценки вредных выбросов, рассчитанной по физическим и финансовым показателям, при использовании IT-технологий позволяет в экспресс-расчетах получать необходимые сравнительные оценки выполнения видов транспортной деятельности [6].

Система оценки экологического ущерба от загрязнения атмосферы выбросами от транспортной деятельности автотранспортных предприятий выполняется интегрированно от мобильных и стационарных источников с учетом использования дифференцированных ставок платы за негативное воздействие на окружающую среду.

Список литературы

- 1 Об охране атмосферного воздуха : закон Респ. Беларусь от 16 декабря 2008 г. № 2-3 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2009. – № 4, 2/1554.
- 2 О некоторых вопросах охраны окружающей среды и природопользования : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 20.06.2013 № 504 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2013. – № 5/37433.
- 3 Об утверждении Инструкции о порядке разработки и утверждения инструкции по осуществлению производственного контроля в области охраны окружающей среды, рационального использования природных ресурсов : постановление М-ва природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 11 октября 2013 г. № 52 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2013. – № 57, 8/10768.
- 4 Гаврилюк, А. С. Оценка экологического состояния урбогеосистем Санкт-Петербурга на основе многокритериального подхода / А. С. Гаврилюк // Альманах научных работ молодых ученых университета ИТМО. – СПб., 2016. – С. 266–267.
- 5 Джайлаубек, Е. А. Экологическая оценка эффективности применения европейских стандартов на вредные выбросы от автомобильного транспорта в Казахстане / Е. А. Джайлаубек // Транспорт Российской Федерации. – СПб. – № 5(18). – 2008. – С. 64–67.
- 6 Комлева, Т. А. Автоматизированная системы оценки экологического ущерба от выбросов котельными загрязняющих веществ / Т. А. Комлева, В. С. Асламова // Транспортная инфраструктура сибирского региона. – Иркутск: ИГУПС. – 2015. – С.107–110.

7 Лихогодина, Д. В. Обоснование необходимости комплексной оценки экологического ущерба от автотранспортных потоков / Д. В. Лихогодина, Е. В. Чикачек // Управление качеством в транспортной и социальной сферах : сб. статей по материалам XI Междунар. науч.-практ. конф. – Оренбург, 2018. – С. 120–124.

8 Пивоваров, Д. А. Учет экологического фактора при оценке эффективности инвестиционного проекта / Д. А. Пивоваров, Т. А. Гедич // Вестник Иркутского технического университета. – Иркутск, 2013. – С. 189–194.

9 Повышение качества экологической оценки загрязнений воздушной среды выбросами автотранспорта с использованием численных методов / В. А. Андрианов [и др.] // Экологическая безопасность автотранспортного комплекса : передовой опыт России и стран Европейского союза : сб. статей по материалам III Междунар. науч.-практ. конф. – СПб., 2005. – С. 35–38.

10 Соколова, Е. В. К оценке экологической опасности выбросов автозаправочных станций для воздушного бассейна городских комплексов / Е. В. Соколова // Вестник Сев.-Кавказского государственного технического университета. – Ставрополь, 2012. – С. 64–68.

11 Уразакова, М. А. Оценка экологической опасности выбросов вредных веществ от автомобильного транспорта г. Нефтеюганск / М. А. Уразакова // Инструменты и механизмы современного инновационного развития : сб. статей по материалам Междунар. науч.-практ. конф. – Пермь, 2017. – С. 27–32.

12 Шайтура, С. В. Анализ математических моделей экологического регулирования для оценки сокращения вредных выбросов в окружающую среду / С. В. Шайтура, А. М. Минигаева // Славянский форум. – Бургас: Ин-т гуманитарных наук, экономики и информационных наук. – № 3(13). – 2016. – С. 161–173.

Получено 22.04.2020

A. A. Mikhalchenka. Environmental study of the environment from transport activity.

The results of studies of changes in the level of environmental pressure on the environment from transport activities are presented. The conditions and mechanism for controlling the level of environmental emissions into the environment from mobile and stationary sources are considered. It is proposed to expand the methodological justification for calculating emissions of harmful substances from mobile sources of transport activity and obtained in the process of technical operation of vehicles. The results of studies of this problem by scientists of different countries and the use of experience in solving it in the Republic of Belarus are considered. The possibility of reducing the environmental load from transport activities in the Republic of Belarus is assessed and methodological foundations providing these opportunities are presented.

УДК 629.463.62

Р. С. БАЙМАГАНБЕТОВ, докторант, Д. АМАНКЕШУЛЫ, кандидат технических наук, РГУ «Кокшетауский технический институт» КЧС МВД Республики Казахстан, В. В. КОПЫТКОВ, кандидат технических наук, Гомельский филиал Университета гражданской защиты МЧС Беларуси

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ЛЕСНЫХ НИЗОВЫХ ПОЖАРОВ

Устойчивые низовые пожары, особенно высокой интенсивности, оказывают дестабилизирующее воздействие на состояние, а также динамику роста и развития сосновых лесов, при этом характер негативного влияния зависит от возраста древостоя и интенсивности пожара. Представлена практика установления санитарного состояния древостоя, пострадавшего от летних устойчивых низовых пожаров, а также насаждений, не затронутых пожарами на пробных площадях, Катон-Карагайского государственного национального природного парка Республики Казахстан.

Лесные пожары, произошедшие в государственных национальных природных парках Восточного Казахстана, влекут за собой экологические последствия. Для поддержания насаждений парка в состоянии, позволяющем в полном объеме выполнять их множественные и разнообразные функции, необходимо знать последствия пирогенного воздействия и, в частности, после пожарного отпада в насаждении (степени повреждения древостоя).

Проблемой влияния пожаров на древостой в различных лесорастительных условиях занимались многие исследователи (Нестеров, 1945; Мелехов, 1948; Третьяков, 1952; Молчанов, Преображенский, 1957; Балбышев, 1963; Уткин, 1965; Попов, 1967, 1983; Романов, 1968; Смирнов, 1970; Фурьев, 1973, 2005; Евдокименко, 1975; Валендик, 1979, 2001; Шенуков, 1988; Софронов, 1979, 1990; Матвеев, 1979, 1992; Буряк, 1999; Цветков, 2004; Иванова, 2005 и др.), которые отмечают ряд факторов, влияющих на послепожарный отпад.

Целью настоящей работы является изучение влияния низовых пожаров на состояние и естественное возобновление сосновых лесов на территории государственного национального природного парка в Восточном Казахстане, где леса занимают 11,9 % территории Восточно-Казахстанской области (площадь свыше 2 млн га). В основном лесные массивы расположены на отрогах хребтов Алтайских гор. Здесь распространены темнохвойные леса. В нижнем поясе лесной зоны распространены лиственные и смешанные леса. На высоте от 800 до 1700 м на севере и до 2300 м на юге преобладает лесной пояс (сосна, береза, осина, тополь, кедр, ель, пихта, лиственница, разные кустарники). Видовой состав лесов приведен на рисунке 1.

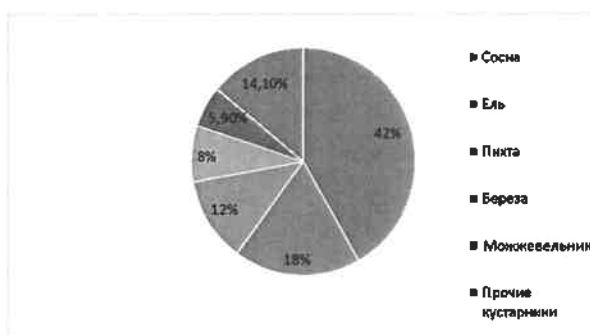


Рисунок 1 – Виды лесных пород в Восточно-Казахстанской области Республики Казахстан

Главной и преобладающей породой в изучаемом районе является сосна, поэтому объектом исследований явились ее насаждения в равнинной части национального парка.

В целях установления санитарного состояния древостоя, пострадавшего от устойчивых низовых пожаров, а также насаждений, не затронутых пожарами на пробных площадях (далее – ПП) государственного национального природного парка Восточного Казахстана, было проведено детальное обследование по методике закладки лесопатологических ПП [1]. С помощью данного эксперимента были получены данные о воздействии давних устойчивых низовых пожаров на деревья, образующие однородный лесной участок.

Проведенное исследование на ПП Катон-Карагайского государственного национального природного парка показало, что в целом древостой сохранился на всех прогоревших участках, но санитарное состояние можно оценить как неудовлетворительное (рисунок 2).

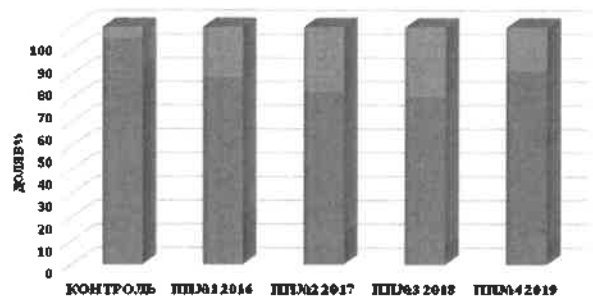


Рисунок 2 – Показатель по категориям состояния древостоя:

■ – удовлетворительное; ■ – неудовлетворительное; ■ – погибшие

Количество здоровых сохранившихся деревьев невелико, большая часть древостоя представлена поврежденными и погибшими. Нанесенные повреждения при воздействии огня на древостой подтверждаются уже в первый год после пожара. На свежем горельнике 2018 года доля погибших и усыхающих деревьев к концу первого года после пожара составила более 93 %. Больше количество сухостойных деревьев отмечено на ПП № 2. На свежих прогоревших участках ПП № 3, ПП № 4 погибших деревьев меньше, но можно ожидать увеличение этого показателя в ближайшее время, т. к. отмирания ослабленного древостоя обычно продолжается после пожара спустя пару лет. Так же происходит сравнение зависимости от давности устойчивого низового пожара средней интенсивности средневзве-

шенной категории состояния (далее – СКС) древостоя (рисунок 3).

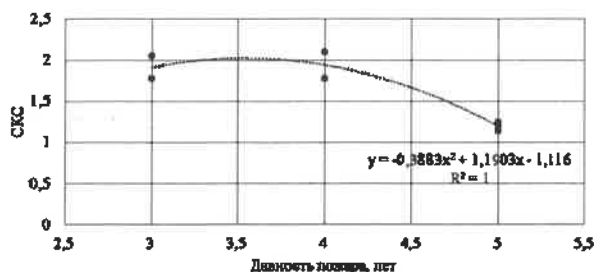


Рисунок 3 – Зависимость состояния древостоя от давности устойчивого низового пожара средней интенсивности

Из рисунка 3 видно, что через три года показатель СКС близок к слабой степени повреждения и не имеет тенденции к ослаблению на четвертый год после пожара (средние показатели СКС по давности третьего и четвертого года – 1,92 и 1,94 соответственно). Величина отпада на гарях трехлетней давности – 8,8 и 15,8 %, на гарях четырехлетней давности – 8,6 и 16,0 %, что в разы превышает естественный отпад [2].

Однако необходимо учитывать и тот факт, что при различном возрасте деревьев опасность поражения их при одном и том же виде и силе пожара различна [3]. Преимущественно в сосновых борах образуются горельники с преобладанием сухостойных деревьев в особенности в 50–60-летних сосняках после устойчивых низовых пожаров высокой интенсивности (рисунок 4).

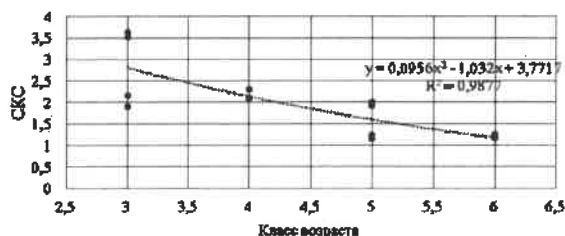


Рисунок 4 – Зависимость состояния древостоя и величины общего отпада древостоя после пожара от класса возраста насаждений

Получено 15.04.2020

R. S. Baimaganbetov, D. Amankeshuly, V. V. Kopytkov. Ecological consequences of forest – ground fair.

High intensity resistant ground fires have a destabilizing effect on the state, dynamics of growth and development of pine forests. And the fact is the nature of the negative impact depends on the age of the forest and the intensity of the fire.

This article describes the practical part of establishing the sanitary state of a stand, which was subjected to summer sustained lowland fires and plantings which was not affected by fires on trial plots of Katon-Karagay State National Natural Park of the Republic of Kazakhstan.

На контрольных ПП величина общего отпада показывает ухудшение состояния древостоев (58,3 и 63,0 % соответственно), что свидетельствует о значительной стадии нарушения биологической устойчивости насаждений и об их начальном этапе распада.

Стоит также указать, что в меньшей степени на послепожарное состояние древостоев влияет наличие грибов и вызываемых ими некрозно-раковых болезней. Проявление бугорчатого рака сосны отмечено единожды, а количество зараженных смоляным раком деревьев не превышает и 7 %. Несмотря на это огневые поражения стволов со временем могут привести к заселению в них вредоносных насекомых (заселенность до 9 %) и увеличению отпада.

Вывод. Устойчивые низовые пожары, особенно высокой интенсивности, оказывают дестабилизирующее воздействие на состояние, а также динамику роста и развития сосновых лесов, при этом характер негативного влияния зависит от возраста древостоя и интенсивности пожара.

Список литературы

1 Алексеев, В. А. Диагностика повреждений деревьев и древостоев при атмосферном загрязнении и оценка их жизненного состояния / В. А. Алексеев // Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. – Л.: Наука, 1990. – С. 38–53.

2 Алексеев, В. А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев / В. А. Алексеев // Лесоведение. – 1989. – № 4. – С. 51–57.

3 Санников, С. Н. Лесные пожары как эволюционно-экологический фактор возобновления популяций сосны в Зауралье / С. Н. Санников // Горение и пожары в лесу. – Красноярск, 1973. – С. 236–277.

4 Мозолевская, Е. Г. Методы лесопатологического обследования очагов стволовых вредителей и болезней / Е. Г. Мозолевская, О. А. Катаев, Э. С. Соколова. – М.: Лесная промышленность, 1984.

5 Попова, Э. П. Влияние низовых пожаров на свойства лесных почв Приангарья / Э. П. Попова // Охрана лесных ресурсов Сибири. – Красноярск, 1975. – С. 166–178.

ИСТОРИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ

УДК 656.212.5

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

ИСТОРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОЗДАНИЯ И РАЗВИТИЯ НАСОСОСТРОЕНИЯ

С древнейших времен человечество неизбежно сталкивалось с проблемой питьевого водоснабжения и необходимостью в водоснабжении вообще. Доказательством этого важнейшего этапа развития цивилизации являются акведуки (водопроводы) в Сицилии (450 лет до н. э.), акведук Марсия в Риме (примерно 144 года до н.э.), а также первый (около 160 лет до н. э.) напорный водопровод за Пергамской крепостью (Древняя Греция). Вначале это были водоподъёмные насосы, затем винтовые механизмы, и наконец, насосы, конструкции которых на протяжении веков постоянно совершенствовались, что позволяло их применять в различных сферах деятельности человека, как то: сельское хозяйство, тушение пожаров, автомобилестроение и т. п. Не потеряло своей актуальности данное направление и сегодня, о чем свидетельствует интенсивно развивающееся как отечественное, так и зарубежное насосостроение. В связи с этим целесообразно проведение исторического анализа позволяет сформировать целостную картину развития инженерной мысли с древнейших времен до настоящего времени.

Первые попытки людей сознательно упорядочить водоснабжение в цивилизованных поселениях относятся к пятому тысячелетию до н. э. При этом изобретение насоса относится к глубокой древности и первый насос для тушения пожаров, который изобрёл древнегреческий механик Ктесибий, был описан в I в. до н.э. древнегреческим учёным Героном в сочинении «Pneumatica», а затем Витрувием в труде «De Architectura». В вышеуказанных трудах вначале решались проблемы каптажных источников и безнапорного подвода воды потребителям, затем проблемы преодоления разности высот. С этого момента, т. е. с первого пуска водоподъёмного механизма, можно говорить о начале эры развития насосов.

Водоподъёмное колесо – древнейший водоподъёмный механизм, имеющий первоначальную величину напора 3–4 м и максимальную подачу 8–10 м³/ч, а так называемые цепные насосы (нории) использовались до 1700 лет до н. э. Как показали археологические раскопки в это время в Каире уже был колодец глубиной 91,5 м, из которого добывалась питьевая вода при помощи цепного насоса. Первые водяные колеса применялись более чем за 3000 лет до н. э. в Египте, Китае, Индии и других странах, что подтверждается сведениями об их использовании в таких древних источниках, как «География» Страбона (63 г. до н. э. – 24 г. н. э.) в «Десяти книг об архитектуре» Витрувия (вторая половина I века до н. э.), где отмечено следующее: «В реках также устанавливаются водоподъёмные колёса, подобные вышеописанным, с той только разницей, что к ним с наружной стороны приделываются лопасти, которые, будучи увлечены течением воды, своим движением заставляют вращаться колесо и, наполняя при этом ящики водой и поднимая их вверх, без работы толкания, путём использования течения воды, сами вращаясь, выполняют необходимую работу».

Следует отметить, что пожарный насос из Александрии, построенный примерно за 200 лет до н. э., можно рассматривать по египетским письмам как первый прототип поршневого насоса, в котором применены все элементы современного классического поршневого насоса (плунжер, откидные клапаны и эксцентриковый привод плунжера), созданного вероятно Ктесибием.

Отсутствие приводного двигателя тормозило развитие гидравлических машин. Поэтому на протяжении почти 2000 лет водоподъёмное оборудование практически не изменилось, и только благодаря разделению труда и развитию мануфактуры в XVI–XVIII вв. были созданы условия для широкого использования водяного колеса, а затем паровой машины в качестве двигателей, что способствовало появлению гидравлических машин. В 1588 г. французский инженер А. Раммели в своем сочинении «Различные искусные машины» описал четыре разновидности вращательных насосов и прототип шестеренного насоса, а также (довольно точное) пластинчатый насос однократного действия.

Идея использования центробежной силы для подачи жидкости возникла в XV в. у Леонардо да Винчи. В 1689 г. французский физик Д. Папен изобрел центробежный насос для откачки грунтовых вод, который вначале имел двухлопастное колесо и кольцевой кожух постоянного сечения, а после усовершенствования: многолопастное колесо и спиральный кожух. Однако при отсутствии мощных и быстроходных двигателей использование роторного и центробежного насосов оказалось неэффективным. Эти насосы на протяжении долгого времени не могли конкурировать с поршневыми насосами и уступали последним во всех отношениях.

Появление паровых машин в XVIII в. обусловлено, прежде всего, необходимостью привода насосов для откачки воды из шахт. Неглубокие выработки к этому времени уже истощились, а основной проблемой было удаление грунтовых вод из глубоких шахт, которые не позволяли вести добычу полезных ископаемых.

С середины XIX в. начали широко внедряться в производство паровые прямодействующие поршневые насосы. К этому периоду относится создание крыльчатых насосов, прообразом которых является поршневой, с кольцевым цилиндром, описанный французским инженером А. Рамелли в 1588 г. («Le diverse et artificieuse machine»). Развитие теории поршневых насосов тесно связано с работами отечественных учёных и инженеров (К. Бах, Г. Берг, А. П. Герман, В. Г. Шухов, П. К. Худяков, И. И. Куколевский, А. А. Бурдаков и др.). Достижения в области поршневых насосов были широко использованы также при создании поршневых компрессоров, гидравлических прессов и др. устройств, но сами

поршневые насосы начиная с 20–30-х гг. XX в. стали заметно вытесняться из ряда областей центробежными, роторными и др.

Другой путь развития насосов начался с изобретения так называемых вращающихся насосов, имевших по одному ротору, которые также были описаны Рамелли. Насос с эксцентрическим ротором является прототипом современных шибберных насосов.

В 1624 г. Лейбхон И. в книге «La recreation mathematicae» описал двухроторный коловратный насос, который можно рассматривать как прообраз современных зубчатых насосов. В дальнейшем появились и другие разновидности роторных насосов, представителем которых является, например, лабиринтный насос, созданный уже в 50-е гг. XX в. Первый вихревой насос, названный центробежным самовсасывающим, был предложен в 1920 г. в Германии инженером С. Хиншем, затем появились и другие разновидности.

В конце XIX в., когда появились быстроходные тепловые, а затем электрические двигатели, центробежные насосы получили более широкое применение, благодаря ан-

глийским, русским и американским инженерам А. А. Саблукову, Джонсону, Гуингу, В. А. Пушечникову.

Развитие осевых насосов основывалось на опыте аналогичных им гидротурбин. Проектирование и исследование осевых (пропеллерных и поворотных-лопастных) насосов относится к концу XIX – началу XX вв. и нашло отражение в трудах Эйлера Л., Рейнольдса О., Жуковского Н. Е., Чаплыгина С. А., Пфлайднера К. и других учёных.

Ретроспективный анализ показал, что исторически могут быть выделены такие направления разработки и дальнейшего развития насосостроения, как создание поршневых, вращательных насосов и гидравлических устройств без движущихся рабочих органов.

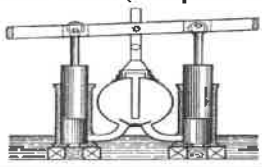
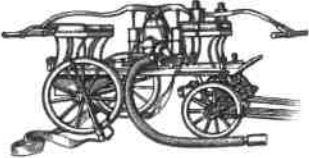
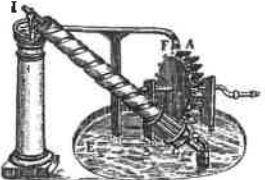
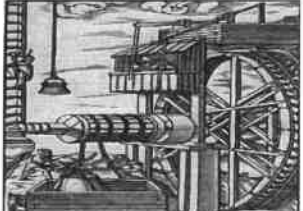
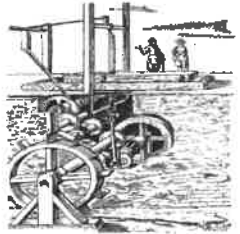

Таким образом, в настоящее время усовершенствование насосов происходит постоянно и расширяется область их применения, развиваются отдельные направления: гидравлика, электрика, механика, что позволяет применять тот или иной насос по назначению.

В таблице 1 приведена краткая характеристика периодов создания и развития насосов с древнейших времен до начала XX века.

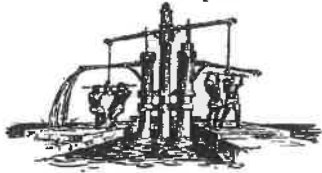
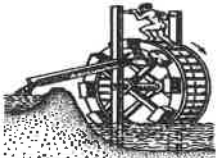

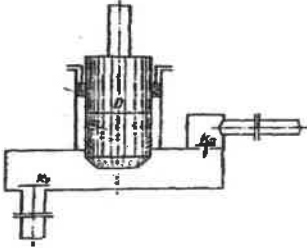
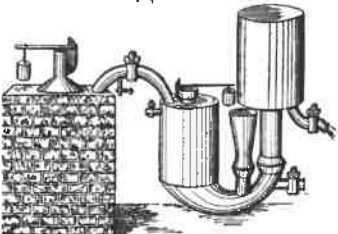
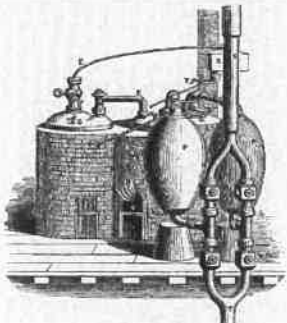
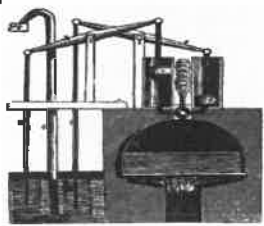
Таблица 1 – Ретроспектива создания водяных насосов

Временной период	Тип насоса	Краткая характеристика	Технические особенности
XXIII – XXII вв. до н. э. Месопотамия; ок. 1570 г. до н. э. Верхний Египет	Шадуф («Журавль») 	Первое устройство, используемое для подъема воды в нескольких древних цивилизациях (прототип насоса)	Сумка и веревка, прикрепленные на одном конце полюса, с противоположным балансом на другом. При спуске веревки, прикрепленной к длинному концу, сумка заполняется водой и, благодаря противовесу, происходит ее поднятие со скоростью 2,5 м ³ /ч
IV по III тыс. до н. э. Шумерская цивилизация, Древний Китай	Нория (цепной или четочный насос) 	Водоподъемные устройства в виде бесконечной вертикальной цепи с черпаками или дисками	В нории с дисками на цепь вместо черпаков надеты диски, часть пути которых при вращении цепи проходит через трубу, поднимая воду к отводящему лотку. Величина напора этого устройства составляла 3–4 м, максимальная подача – 8–10 м ³ /ч
	Чигирь (персидское колесо) 	Тяжелое колесо-барабан, соединенное с горизонтальным валом, вращающийся либо людьми, либо животными позволяет попеременно зачерпывать воду нижними концами жолобов и постепенно передвигать ее кверху на высоту до 4 м в объеме до 42 м ³	На барабане между его ободами располагались один или два каната, «бесконечная цепь», к которой крепились черпаки, откуда вода поступала в отводной лоток и затем к потребителям. Длина горизонтального вала не превышала 8 м, а диаметры барабанов – 6 м
Ок. 287–212 гг. до н. э., Греция	Архимедов винт (водяной насос) 	Передача воды из низколежащих водоёмов в оросительные каналы	Наклон поверхности спиралевидных лопастей по отношению к его краю равен 2. Наклон винта по отношению к горизонту – около 63°
Ок. 280–220 гг. до н. э., Древний Рим	Дренажная система рудников Рио Тинто 	Применение колёс для откачки воды из шахт	Откачка воды с горизонта – 24 м системой из 16 норий

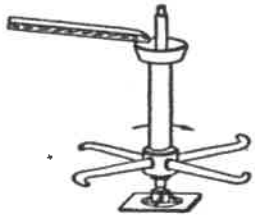
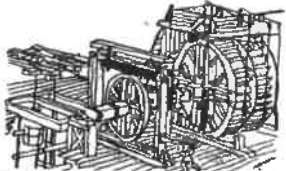
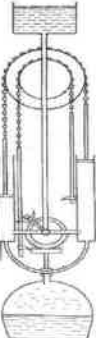
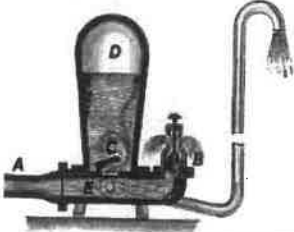
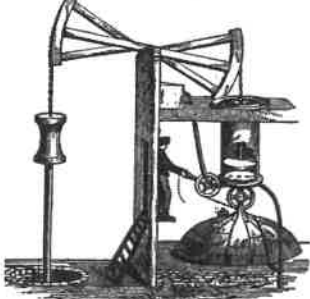
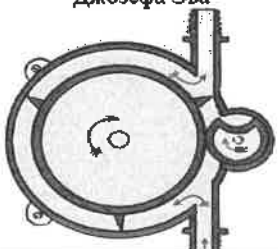
Продолжение таблицы 1

Временной период	Тип насоса	Краткая характеристика	Технические особенности
I в. до н. э., Греция	Насос Ктесибия (пожарный насос) 	Подъем воды из колодезь с созданием сильной струи при помощи двух вертикальных цилиндров с плотно прилегающими поршнями, приводившимися в движение с помощью качающегося рычага	Два цилиндра, снабженные всасывающими и нагнетательными клапанами и рычагом-балансиром для ручного привода
I век н. э., Греция	Насос Герона Александрийского (автомат для отпуска жидкости) 	Поочередное вытеснение воды из двух сообщенных поршневых цилиндров, оборудованных клапанами. Насос приводился в действие мускульной силой двух человек, которые по очереди нажимали на плечи рычага	Движение поршня насоса вверх в цилиндре создает пониженное давление, позволяющее воде попадать внутрь цилиндра, а при движении вниз – в воздушный уравнительный колпак, сглаживающий колебания давления воды на выходе из насоса. Движению воды в другом направлении препятствуют клапаны насоса
1452–1519 гг., Италия	Усовершенствование Архимедова винта Леонардо да Винчи 	Усовершенствованная конструкция насоса позволила обеспечить работу винта с меньшими потерями и увеличить объем доставляемой воды	Подъем воды осуществлялся без применения мускульной силы человека и движение механизмов осуществлялось силой реки, которая посредством приводов через шестерни и валы передавалась на водяное колесо
Начало XVI в., Германия	Насос Платнера 	Усовершенствованная конструкция насоса Ктесибия	Применение поворотного ствола
1553 г., Тироль	Швацкая машина 	Водяное колесо с двумя рядами лопастей	Лопости располагаются друг против друга, и колесо вращается как вперед, так и назад. С вала колеса опускаются в шахту две цепи, которые поднимают наверх деревянные бадьи с рудой и мешки-черпаки с водой по 1400 л, сшитые из двух бычьих шкур каждый
1588 г., Италия	Пластинчатый насос Ромелли 	Основной тип роторного насоса с замыкателем (цилиндрический ротор с четырьмя вырезами, установленный concentрично с погружением в воду)	В вырезы ротора вставлены пластины, которые при вращении прижимаются под действием центробежной силы к внутренней цилиндрической поверхности корпуса, образуя рабочие камеры, которые увеличиваются из-за заполнения их водой и закрываются до тех пор, пока вода не подойдет к выходному отверстию. Далее объем рабочей камеры уменьшается, и вода из нее вытесняется через выходное отверстие в выходную трубу
1630 г., Франция	Шестеренный (колодратный) насос Лейхорна 	Прообраз современных зубчатых насосов	Зубчатые колеса, размещенные в овальном кожухе, имеют захват зубца одного колеса с другим, что не позволяет воде проникнуть внутрь. На каждом колесе имеется ось, которая извне вращается рукояткой. При ее вращении в одном направлении другое колесо вращается в обратном, что позволяет воде из пространства между зубьями колес направляться в обе стороны так, что при вращении колес вода поднимается вверх по трубе и вытекает

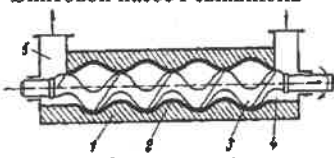
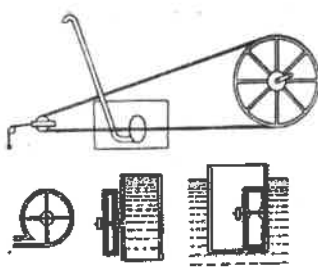
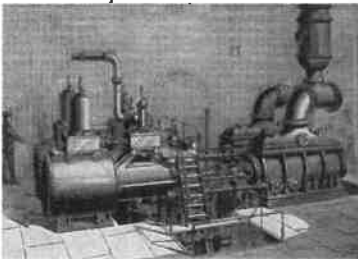
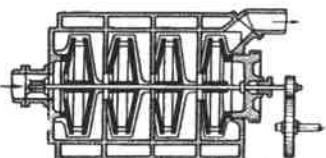
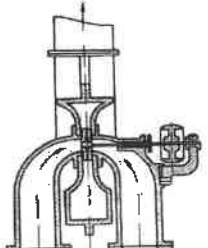
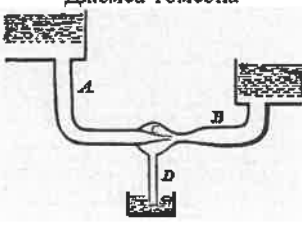
Продолжение таблицы 1

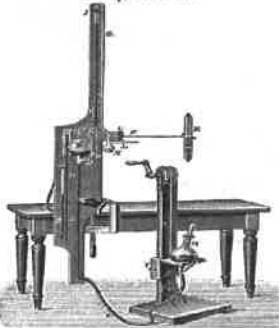
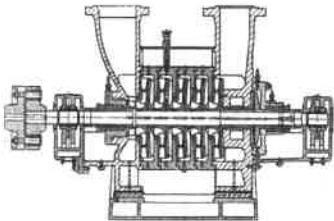
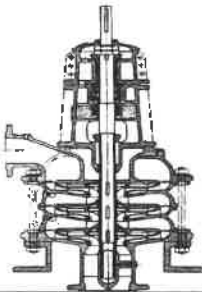
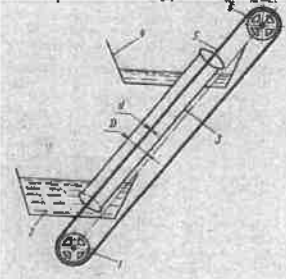
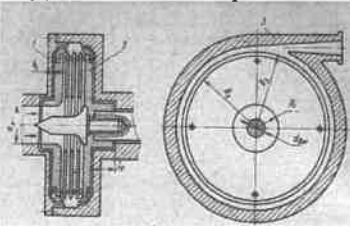
Временной период	Тип насоса	Краткая характеристика	Технические особенности
1650 г., Германия	Поршневой вакуумный насос Отто ван Герике 	Основан на классическом принципе объемного вытеснения	Вода из нижнего сосуда переходит в верхний под давлением атмосферного воздуха
1657 г., Франция	Насос Бланкино 	Подача воды при помощи вращающегося рабочего колеса	Два вращающихся колеса на общей раме наклонных трубок, нижние концы которых опущены в воду, а верхние расположены над круговым сосудом, куда стекает вода
1672 г.	Насосы братьев Ван Дер Хейде 	Усовершенствованная конструкция насоса Платнера	Впервые применены пожарные рукава вместо поворотной шейки пожарного насоса, ограничивающей действие струи
1674 г.	Уплотненный плунжерный насос Сэмюэля Морланд 	Насос вытеснения с рабочим органом – плунжером, который перемещается вдоль оси цилиндра	Всасывание жидкости в цилиндр насоса происходит при движении плунжера вверх. При этом всасывающий клапан K_1 поднимается и жидкость под действием внешнего давления входит в цилиндр насоса. При возвратном движении плунжера вниз клапан K_1 прижимается к своему гнезду, закрывая его, а нагнетательный клапан K_2 открывается, пропуская вытесняемую из цилиндра воду в нагнетательный трубопровод
1695 г. Франция	Насос Дени Палена 	Центробежный насос с открытым рабочим колесом, имеющим прямолинейные лопасти	Применение спирального кожуха с постепенно увеличивающимся по направлению вращения сечением
1699 г., Англия	Паровой насос Томаса Севери 	Маломощный камерный нагнетательно-всасывающий насос для подъема воды	В водоподъемнике в паровой котел через кран подавалась вода, далее пар из котла через открытый кран поступал в камеру насоса и вытеснял из нее воду через нагнетательный клапан при закрытом всасывающем клапане в верхний резервуар. Затем кран закрывали, а камеру поливали холодной водой. Пар в камере конденсировался, давление снижалось и через всасывающий клапан вода поступала в камеру. Затем цикл повторялся
1720 г.	Паровой насос Якоба Леопольда 	Применение крана (между цилиндрами), с его помощью пар впускался в один цилиндр и одновременно выпускался из другого	Поршни, сделанные из свинца, поднимаются давлением пара, а опускаются под собственным весом

Продолжение таблицы 1

Временной период	Тип насоса	Краткая характеристика	Технические особенности
1750 г., Германия	Насос Яноша Сегнера 	Сегнерово колесо (водяное колесо нового типа с КПД 50 %)	Свободно вращающиеся горизонтальные трубы с горизонтальными отогнутыми в противоположные стороны открытыми концами, прикреплены к вертикальной подводящей трубе. Через отверстия вытекает жидкость, приводя во вращение колесо в соответствии с законом сохранения импульса
1750 г., Россия	Система поршневых насосов К. Д. Фролова 	Система поршневых насосов для промывки грунта и организации водоотведения из шахт	Верхнебойные водяные колеса
1766 г., Россия	Насос Ивана Ползунова 	Принцип работы аналогичен машине Ньюкомена	В один из цилиндров, наполненных паром, впрыскивали воду, пар конденсировался и в цилиндре создавалось разрежение, под действием атмосферного давления поршень опускался вниз, в тот же момент в другой цилиндр поступал пар и он поднимался
1775 г., Англия	Насос Джозефа Уайтхёст (гидравлический таран) 	Работа гидротарана основана на использовании явления гидравлического удара – кратковременного резкого повышения давления при внезапной остановке потока жидкости в жесткой трубе	Подъем части воды на высоту, превышающую исходный уровень, за счёт кинетической энергии всего потока
1805 г., Англия	Поршневой насос Томаса Ньюкомена 	Поршень передвигается внутри цилиндра, связанный с одним концом балансира, другой конец которого соединялся со штангами водоотливного насоса	Поршень связан цепью с концом большого коромысла, представляющего собой двулучий рычаг. При рабочем ходе поршня вниз насос выталкивает вверх порцию воды, а затем под собственным весом опускается вниз, а поршень поднимается, заполняя цилиндр паром. Охлаждающая вода и сконденсировавшийся пар удалялись из цилиндра по трубе, а излишний пар выпускался из котла через предохранительный клапан
1825 г., США	Водяной ротационный насос Джозефа Эва 	Перекачивание различных жидких сред в больших объемах	Вода поступает во внутреннюю камеру устройства, из которой она выталкивается вращательными и поступательными движениями, совершаемыми рабочим органом – ротором. Части ротора наряду с внутренними стенками рабочей камеры формируют замкнутое пространство, в которое и попадает вода. При движении ротора, жидкость выталкивается

Продолжение таблицы 1

Временной период	Тип насоса	Краткая характеристика	Технические особенности
1830 г., США	<p>Винтовой насос Ревиллиона</p>  <p>1 - корпус; 2 - цилиндр; 3 - винт; 4 - всасывающая полость; 5 - напорный трубопровод</p>	<p>Винтовые насосы являются разновидностью роторно-зубчатых насосов. Вода, поступающая в пару (статор/ротор), перемещается внутри насоса и затем выталкивается через выпускное отверстие</p>	<p>Создание напора нагнетаемой воды осуществляется за счёт вытеснения ее одним или несколькими винтовыми металлическими роторами, вращающимися внутри статора соответствующей формы</p>
1838 г., Россия	<p>Центробежный насос Саблукова А. А.</p> 	<p>Возникающая при вращении рабочего колеса центробежная сила, приводит к вытеснению воды от центра колеса к его периферийным участкам, где создается повышенное давление, которое вытесняет жидкость в напорный трубопровод. Понижение давления в центре рабочего колеса вызывает поступление жидкости в насос через всасывающий водопровод</p>	<p>Рабочее колесо (импеллер), расположенное внутри спирального корпуса, которое имеет лопасти, направленные в обратную сторону относительно вращению самого колеса. При старте работы агрегата рабочее колесо начинает вращаться, и жидкость через всасывающий патрубок поступает вдоль оси вращения колеса</p>
1840 г., США	<p>Поршневой насос Вортингтона с паровой машиной</p> 	<p>Работа насоса основана на принципе вытеснения, основными рабочими органами которого являются: цилиндр и поршень. Поршень перемещается в цилиндре совершая возвратно-поступательное движение</p>	<p>Паровой цилиндр приводит в движение насосы холодной и горячей воды, поршни которых расположены на одном с ним штоке. Насос холодной воды расположен в средней части корпуса, горячей воды - внизу. Холодная вода поступает в насос холодной воды и далее в верхнюю часть корпуса к разбрызгивающему клапану и в камеру смешения, куда поступает пар, смешиваясь с ним и прогреваясь, вода движется вниз к насосу горячей воды, который подаёт ее в котел</p>
1842 г., Англия	<p>Многоступенчатый насос Гвинна</p> 	<p>Насос с лопастными направляющими аппаратами между рабочими колесами</p>	<p>Вода последовательно проходит через несколько рабочих колес, смонтированных в одном корпусе. Напор насоса равен сумме напоров последовательно расположенных колес, пропускающих один и тот же расход жидкости (подача 22 л/с, напор 4,2 м, 670 об./мин, КПД 19 %)</p>
1846 г., США	<p>Насос Джона Эппольда</p> 	<p>Центробежный насос с закрытым рабочим двухсторонним колесом и лопатками, загнутыми назад по отношению к направлению вращения</p>	<p>Подача 94 л/с, напор 6 м, 788 об./мин, КПД 68 %</p>
1852 г., Англия	<p>Водоструйный насос Джемса Томсона</p> 	<p>Действие насоса основано на непосредственной передаче кинетической энергии одним потоком (рабочим) другому, имеющему меньшую кинетическую энергию (перекачиваемому - эжектируемому). Рабочая и перекачиваемая жидкости могут быть одинаковыми</p>	<p>В насосе диаметр трубки, по которой поступает вода, постепенно сужается, что приводит к уменьшению ее давления, но резкому увеличению скорости движения струи. Вырываясь из сопла утончающейся трубки в ограниченное пространство с низким давлением, вода движется с большой скоростью и захватывает воздух из бокового отвода насоса</p>

Временной период	Тип насоса	Краткая характеристика	Технические особенности
1865 г., Германия	Ртутно-струйный насос Шпренгеля 	Ртуть в качестве жидкости выбрана за незначительное давление насыщенных паров (что позволяет получить достаточно глубокий вакуум) и большую плотность (что не даёт атмосферному давлению на каплю снизу превысить силу притяжения капли к земле). Для избежания испарения ртути, на ее поверхность наливают небольшое количество воды	Насос состоит из двух ёмкостей, соединённых вертикальной трубкой. В верхнюю ёмкость периодически поступает небольшое количество ртути, которая под действием силы тяжести стекает в трубку, и далее в нижнюю ёмкость. Диаметр трубки выбирается небольшим, чтобы поверхностное натяжение капли ртути обеспечивало перекрытие сечения трубки, не позволяя воздуху проходить по трубке снизу вверх. При этом в трубке постоянно находится несколько капель, разделённых воздушными промежутками. Производительность до 20 см ³ /с
1875 г., Англия	Насос О. Рейнольдса 	Многоступенчатый центробежный насос представляет собой ряд одноступенчатых агрегатов, рабочие колеса которых располагаются на общем валу и включены последовательно. При этом полный напор машины равен сумме напоров отдельных ступеней	При попадании жидкости во всасывающую полость образуется область разрежения, на выходе из насоса в направляющем аппарате область нагнетания. Благодаря разности давлений насос перемещает воду по трубам. Четырёх-ступенчатый насос с напором 45 м, производительностью 700 л/мин и коэффициентом полезного действия 58,5 %
1889 г., Россия	Глубоководный осевой насос В. А. Пушечникова 	Малогабаритный насос для подъёма подземных вод с больших глубин также используется для создания циркуляции жидкости в различных ёмкостях и перекачивания рабочей среды при небольшом напоре	Основная часть насоса – рабочее колесо – напоминает по форме гребной винт, который захватывает своими лопастями рабочую жидкость и перемещает ее вдоль оси. Само рабочее колесо при этом совершает вращательные движения. Для преобразования вращательного движения перекачиваемой среды в поступательное, в конструкции осевого насоса предусмотрен направляющий аппарат
1901 г., Россия	Насос Н. Е. Жуковского 	Шнуровой насос, представляющий собой шнур в виде кольца, пропущенный через трубу. При движении шнур увлекает воду к выходу	В процессе работы насоса при выходе рабочего органа-шнура из накопителя жидкости вытекает определенный слой воды, который удерживается на нём и поднимается вверх. При движении шнура до ведущего барабана водоподъемника происходит самопроизвольное стекание жидкости вниз обратно в водоисточник, что влияет на количество воды, поднятой наверх. Для снижения потерь жидкости выбирается скорость движения шнура больше, чем скорость стекания жидкости по ней
1905 г., США	Дисковый насос Сарджента 	Радиальная машина без лопастей. Это первый насос, действующий на основе принципа пограничного слоя и вязкостного сопротивления	Двадцать девять параллельных дисков, располагающихся с интервалом в несколько тысячных дюйма, помещены в оболочку из металлической полосы, где имеется множество отверстий, позволяющих жидкости проникать в конструкцию и выходить из нее

Рассмотренные выше разработки насосов стали возможны благодаря первоначальным теоретическим сведениям (экспериментально открытым законам), которые касались конкретных технических устройств и способов их эксплуатации. Они содержались в трактатах, посвященных описанию устройства и правил эксплуатации технических приспособлений. Со временем некоторые из теоретических выводов, основанные на практическом подтверждении, получили статус общих законов и излагались уже в трактатах естественнонаучного, математического и философского содержания.

Таким образом, ретроспективный анализ исторического материала показал, что:

1) разработка проблем насосов и насосного оборудования всегда диктовалась необходимостью решения различных практических задач, выдвигаемых жизнью и связанных с развитием материальной базы нашего общества, и при этом осваивались человеком, как мы видели, иногда в течение тысячелетий;

2) теоретические основы технической механики жидкости (гидравлики) начали интенсивно развиваться только в середине XVIII в., после того как зарубежные и отечественные ученые сформулировали основополагающие законы физики и общей механики, а также был

разработан соответствующий математический аппарат, позволяющий достаточно точно и кратко выражать соответствующие зависимости механики.

Список литературы

- 1 Архив истории науки и техники / под ред. Н. И. Бухарина (гл. ред.). – Вып. 5. – М.-Л. : АН СССР. – 1935. – 625 с.
- 2 Брикс, Ф. А. Лопастные насосы (центробежные помпы) / Ф. А. Брикс. – СПб., 1896. – 112 с.
- 3 Караваяев А. Е. Очерк по истории развития лопастных насосов / А. Е. Караваяев. – М.-Л. : Госэнергоиздат, 1958. – 72 с.
- 4 Карелин, В. Я. Насосы и насосные станции : учеб. для вузов / В. Я. Карелин, А. В. Минаев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1986. – 320 с.
- 5 Лямаев, Б. Ф. Гидроструйные насосы и установки / Б. Ф. Лямаев. – М., 2012. – 127 с.
- 6 Шейпак, А. А. История создания насосов и механика жидкости (посвящ. столетию кафедры Э10 МГТУ им. Н. Э. Баумана) / А. А. Шейпак // Наука и образование. – 2015. – № 5. – С. 1–18. – DOI: 10.7463/0515.0776292.
- 7 Шейпак, А. А. История науки и техники. Энергомашиностроение / А. А. Шейпак. – М. : Прометей, 2017. – 254 с.

Получено 01.04.2020

T. A. Vlasuk, A. Z. Skorohod. Historical analysis of the creation and development of pumpengineering.

Since ancient times, mankind has inevitably faced the problem of drinking water supply and the need for water supply in General. Evidence of this most important stage in the development of civilization are the aqueducts (aqueducts) in Sicily (450 BC), the first (about 312 BC), the Marcia aqueduct in Rome (about 144 BC), and the first (about 160 BC) pressure water supply behind the Pergamon fortress (Ancient Greece). At first they were water-lifting pumps, then screw mechanisms, and finally pumps, the design of which has been constantly improved over the centuries, which allowed them to be used in various fields of human activity such as agriculture, fire fighting, automotive industry, etc.this direction has not lost its relevance today, as evidenced by the rapidly developing both domestic and foreign pump construction. In this regard, it is advisable to conduct a historical analysis that allows you to form a complete.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Статьи, направляемые в редакцию журнала «Вестник БелГУТа: Наука и транспорт», должны соответствовать следующим требованиям.

1 Материал статьи должен отражать профиль журнала и излагаться предельно ясно на белорусском или русском языке. На оборотной стороне последнего листа ставится подпись автора (авторов) и указывается название рубрики, к которой относится статья.

2 Статья должна быть представлена в одном экземпляре на бумажном носителе [для иногородних – по почте (адрес электронной почты: tatiانا-101@list.ru)] и тщательно отредактирована. Одновременно текст статьи представляется в формате текстового редактора MS Word в виде обычного текстового файла – по фамилии автора (авторов), гарнитура шрифта – Times New Roman.

3 Текст статьи должен быть оформлен в соответствии с ГОСТ 7.5–98 «Журналы, сборники, информационные издания. Издательское оформление публикуемых материалов», ГОСТ 2.105–95 «Межгосударственный стандарт. Общие требования к текстовым документам» и напечатан на белой бумаге формата А4 на лазерном принтере. Объем статьи – 0,35 авторского листа (14000 печатных знаков, включая пробелы между словами, знаки препинания и др.), т. е. не более трех полных страниц текста формата А4, напечатанного в две колонки размером шрифта (кегель) 10 pt по следующему образцу:



4 Текст статьи должен содержать:

– в левом верхнем углу первой страницы – индекс УДК размер шрифта – 10 pt).

– через интервал на формат 17,5 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 (размер шрифта – 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 (размер шрифта – 10 pt), межстрочный интервал – одинарный, абзац – 5 мм, или 3 печатных знака.

– через интервал в две колонки форматом 8,5 см каждая – список литературы (размер шрифта – 9 pt);

– через интервал – дата поступления рукописи в редколлегию (размер шрифта – 8 pt); например: Получено 05.06.2009;

– через интервал на формат 17,5 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. поставлена задача;

– основную часть, содержащую описание методики, аппаратуры, объектов исследования и подробное освещение содержания исследований, которые могут быть иллюстрированы графиками или подтверждены расчетами в табличной форме. Полученные результаты должны быть проанализированы с точки зрения их научной новизны и сопоставлены с соответствующими известными данными. Основная часть также может делиться на подразделы (с разъяснительными заголовками). Иллюстрации, формулы, уравнения и сноски, встречающиеся в статье, должны быть пронумерованы в соответствии с последовательностью их размещения в тексте;

– заключение, в котором в сжатом виде формулируются основные полученные результаты с указанием их новизны, преимуществ и возможностей применения.

6 Графический материал в статье (рисунки, схемы, диаграммы) должен содержать не более пяти рисунков и быть оформлен в соответствии с требованиями Р 50-77-88 «Рекомендации ЕСКД. Правила выполнения диаграмм». Каждый рисунок должен иметь название (размер шрифта – 9 pt 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 редколлекцией не принимаются.

7 Таблицы (не более трех) располагаются непосредственно после текста, где они впервые упоминаются. Каждая таблица должна иметь номер и название, которое размещается над ней (например: Таблица 1 – Результаты измерений). Размер шрифта названия и основного текста таблицы – 9 pt, головки (шапки) – 8 pt.

8 Размерности всех величин, используемых в тексте, должны соответствовать Международной системе единиц (СИ).

9 Формулы набирают тем же размером шрифта и той же гарнитурой, что и основной текст (буквы русского и греческого алфавитов, числа, знаки математических функций – прямым шрифтом, латинские буквы – курсивом).

10 К рукописи прилагаются:

– сведения об авторе [Ф. И. О. полностью, ученая степень и звание, место работы и должность, домашний адрес, контактный телефон (служебный, мобильный, e-mail)];

– рекомендация кафедры, научной лаборатории или учреждения, в котором выполнена работа, о целесообразности публикации статьи;

– экспертное заключение о возможности публикации статьи.

11 Рукописи, которые не соответствуют указанным требованиям, к рассмотрению не принимаются.

12 Редколлегия по предварительной научно-технической экспертизе может направлять статью на рецензию специалисту и с учетом этой рецензии даёт аргументированное заключение о возможности публикации статьи.