



ВЕСТНИК

Белорусского
Государственного
Университета
Транспорта

НАУКА и ТРАНСПОРТ

1/2022



ВЕСТНИК
Белорусского
Государственного
Университета
Транспорта

Научно-практический журнал

НАУКА
и ТРАНСПОРТ

№ 1 (44)/2022

«ВЕСТНИК БелГУТа: НАУКА И ТРАНСПОРТ»

Научно-практический журнал № 1 (44) 2022 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

ВЕСТНИК БелГУТа: НАУКА И ТРАНСПОРТ

Научно-практический журнал

2022. № 1 (44)

СОДЕРЖАНИЕ

Лодня В. А. 100 лет со дня рождения выдающегося ученого, руководителя, общественного деятеля Белого Владимира Алексеевича.....	4
АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ	
Шевчук В. Г., Бельский А. Н. Перспективные направления модернизации систем связи и передачи данных на Белорусской железной дороге.....	6
Шевчук В. Г., Веселов А. В. Аппаратно-программный комплекс тестирования и учета аккумуляторных батарей в дистанциях сигнализации и связи.....	11
Комнатный Д. В. Аналитическое решение задач расчета электростатических полей техники высоких напряжений методом теорем сложения.....	14
АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ	
Аземша С. А., Грищенко Т. В., Ясинская О. О. Оптимизация параметров координированного регулирования по ул. Советской г. Гомеля.....	18
С. Н. Карасевич, Аземша С. А., Грищенко Т. В., Ясинская О. О. Совершенствование нормативного правового регулирования системы тахографического контроля в Республике Беларусь.....	27
Ковтун В. А., Короткевич С. Г., Лодня В. А. Расчет и проектирование цистерн прямоугольного сечения пожарных автомобилей с повышенными прочностными характеристиками.....	34
ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ	
Путьто А. В. Комплекс технических решений для модернизации универсального сливного прибора вагона-цистерны в условиях депо.....	38
Путьто А. В. Автоматизация расчета ресурса несущих конструкций грузовых вагонов после длительной эксплуатации.....	43
Бурченков В. В. Цифровые технологии для совершенствования технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов.....	47
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА	
Ерофеев А. А., Чапский С. Ю. Прогнозирование продолжительности выполнения технологических операций в интеллектуальной системе управления перевозочным процессом.....	52
Ерофеев А. А., Кузнецов В. Г., Литвинова И. М., Ключицкая М. А. Системные требования к законодательному регулированию железнодорожного транспорта.....	57
Власюк Т. А., Белоус А. Н., Гончарова Л. А. Особенности организации безбарьерного пространства для пассажиров на железнодорожных вокзалах Республики Беларусь.....	63
Михальченко А. А. Оптимизация взаимодействия с объектами управления при разработке диспетчерских управляющих решений.....	68
Ковтун П. В., Дубровская Т. А. Развитие путевого хозяйства Белорусской железной дороги на современном этапе.....	73
Романенко В. В., Ценян А. А., Макаревич В. Д. Особенности, тенденции и факторы, влияющие на методологию управления состоянием бесстыкового пути.....	75
НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ	
Хрусталев Б. М., Пехота А. Н., Вострова Р. Н., Пшеничнов Ю. А. Применение многокомпонентного топлива в котлах пескосушильных установок локомотивных депо.....	79
Поддубный А. А., Гордон В. А. Динамика конструктивно нелинейной системы «балка – основание» при внезапном образовании трещин.....	84
Васильев А. А., Кябышева Ю. К., Доля В. А., Леонов Н. А. Анализ предельной величины карбонизации бетона для различных классов бетона по прочности на сжатие.....	88
Громько И. Л., Белькин В. О., Галушко В. Н. Диагностический комплекс трансформаторов и технология его применения с помощью сверточных нейронных сетей.....	91
ПОДГОТОВКА КАДРОВ	
Гришанкова Н. А. Анализ потребности специалистов технического профиля в чтении литературы на иностранных языках ..	96

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

100 ЛЕТ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ВЫДАЮЩЕГОСЯ УЧЕНОГО, РУКОВОДИТЕЛЯ, ОБЩЕСТВЕННОГО ДЕЯТЕЛЯ БЕЛОГО ВЛАДИМИРА АЛЕКСЕЕВИЧА



8 июня 2022 года исполняется 100 лет со дня рождения академика Белого Владимира Алексеевича, советского и белорусского ученого в области трибологии, физики, механики и материаловедения металлополимерных систем, вице-президента АН БССР, заслуженного изобретателя БССР, лауреата Государственной премии БССР, заслуженного деятеля науки и техники БССР. Владимир Алексеевич внес большой вклад в исследование взаимосвязи молекулярных и надмолекулярных структур полимеров с их физико-механическими свойствами, трения и износа полимеров, а также разработал основы механики металлополимерных систем, расчета и конструирования металлополимерных изделий.

Белый Владимир Алексеевич – выдающийся ученый с мировым именем. Железная дорога проходит красной нитью через всю жизнь Владимира Алексеевича. Так, свою трудовую деятельность после окончания школы он начал паровозным кочегаром, а в сентябре 1939 года поступил в Ростовский институт инженеров железнодорожного транспорта (РИИЖТ). В сентябре 1941 года, когда боевые действия начали приближаться к Ростову-на-Дону, Владимир Алексеевич решил подать заявление о направлении его добровольцем в Красную Армию, однако его желанию не суждено было сбыться, так как железнодорожники были нужны не меньше, чем солдаты. С приближением линии фронта к городу РИИЖТ был эвакуирован в Тбилиси, и начиная с сентября 1943 года Владимир Алексеевич работал на прифронтовой железной дороге помощником паровозного машиниста (дело Гудермес). В 1944 г. вместе с Институтом вернулся в Ростов-на-Дону и уже в 1945 г. после окончания на «отлично» механического факультета РИИЖТа началась его научная и педагогическая деятельность [1].

В 1953 году после успешной защиты кандидатской диссертации приказом Министерства путей сообщений СССР был направлен в Гомель для организации Белорусского института инженеров железнодорожного транспорта (БИИЖТ). С этого времени вся его деятельность была связана с развитием науки и образования в Беларуси. В 1954 г. В. А. Белый стал деканом механического факультета, а в 1955 г. под его руководством была организована кафедра «Теория механизмов и детали машин», которую он впоследствии и возглавил. Белый Владимир Алексеевич снискал большую симпатию среди студентов, что позволило ему быстро организовать студенческий научно-исследовательский кружок, главной целью которого было изучение работы деталей из полимеров в узлах машин. Результатами исследований, полученных в рамках кружка, заинтересовались в Академии наук БССР, и уже в 1959 году было принято решение создать первый в республике Гомельский филиал лаборатории прочности при Институте машиноведения и автоматизации АН БССР, где приоритетными стали исследования полимеров [1]. Именно с этого момента и было положено начало истории Института механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси.

За достаточно короткий срок Владимиру Алексеевичу удалось разработать новое научное направление и

сформировать коллектив исследователей для решения важнейшей народнохозяйственной проблемы – создания новых конструкционных материалов.

Важнейшей вехой научной деятельности В. А. Белого стало создание и исследование различных металлополимерных изделий, в том числе зубчатых и цепных передач, подшипников скольжения и многих других деталей машин.

Белым В. А. и его учениками был обнаружен ряд весьма важных эффектов в области механики металлополимеров: наследственное термоокисление; транскристаллизация; способность расплавов полимеров растворять металлы в окислительной среде.

Также получены принципиально новые научные данные о механике трения полимерных материалов, в частности, найдена связь молекулярной подвижности и образования свободных радикалов, эмиссионных явлений и фрикционных характеристик, изучен механизм фрикционного переноса, предложены новые методы управления фрикционными свойствами при взаимодействии твердых тел.

Результаты научно-исследовательской работы, полученные под руководством Владимира Алексеевича, были отмечены 1, 2 и 3-й премиями Всесоюзного конкурса на лучшую научно-исследовательскую работу, внедренную в машиностроение. В 1964 и 1965 годах представленные на выставке ВДНХ изобретения были удостоены двух золотых медалей, а отдел механики полимеров АН БССР – диплома I степени и диплома почета.

Под руководством Владимира Алексеевича лаборатория технической механики (а затем отдел) стала новым научным ядром научной школы Беларуси. За успехи в развитии науки в апреле 1967 года Белый В. А. был награжден почетным орденом Трудового Красного Знамени, а в 1969 году удостоен звания заслуженного изобретателя БССР. За научно-исследовательскую работу, изложенную в Париже на международной научной конференции, в марте 1968 года Владимир Алексеевич получил почетную медаль Вакансона.

В 1969 году начал свою деятельность Институт механики металлополимеров АН БССР, созданный на базе отдела механики полимеров, который и возглавил Владимир Алексеевич Белый. Наряду с работой в Институте механики металлополимеров Владимир Алексеевич много сил отдает созданию Гомельского государственного университета, ректором которого был утвержден в

1969 году. В этом же году он избирается членом-корреспондентом АН БССР.

За научные достижения в области трибоники полимеров Французское научно-инженерное общество в 1970 году наградило Владимира Алексеевича Белого медалью Жакарра.

В 1971 году Владимир Алексеевич защищает докторскую диссертацию и в 1972 году избирается академиком АН БССР, а в 1973 году становится вице-президентом республиканской Академии наук.

С 1978 по 1983 год Белый Владимир Алексеевич – ректор Белорусского государственного университета, и именно в эти годы наиболее ярко проявился его талант организатора. Благодаря настойчивости, умению и энергии Владимира Алексеевича обогатился учебный процесс, академические лаборатории открыли двери для студентов всех факультетов университета. Возросло количество и качество публикаций ученых университета, научных разработок, защищенных авторскими сви-

детельствами страны и патентами за рубежом, существенно улучшилась подготовка кандидатов и докторов наук, укрепилась материальная база университета, его международные связи.

Отдавая много сил и энергии научной, организационной и общественной деятельности, Владимир Алексеевич продолжал исследовательскую работу. Он является автором 11 монографий и более 500 научных трудов, изобретений и патентов США, Англии, Германии, Японии, Италии, Франции, Швеции и других стран.

Трудовые заслуги Белого Владимира Алексеевича отмечены орденами Ленина, Октябрьской Революции, Трудового Красного Знамени, Почетными грамотами Верховного Совета БССР.

Список литературы

1 Яновский, А. А. История Белорусского государственного университета в биографиях его ректоров / А. А. Яновский, А. Г. Зельский. – Минск, БГУ, 2001. – 320 с.

Получено 01.04.2022

Lodnya V. A. 100 years since the birth of the outstanding scientist, leader, public figure Bely Vladimir Alekseevich.

June 8, 2022 marks the 100th anniversary of the birth of Academician Bely Vladimir Alekseevich, a Soviet and Belarusian scientist in the field of tribology, physics, mechanics and materials science metal polymer systems, Vice-President of the Academy of Sciences of the BSSR, Honored Inventor of the USSR, laureate of the State Prize of the BSSR, Honored Worker of Science and Technology of the BSSR. Vladimir Alekseevich made a great contribution to the study of the relationship of molecular and supramolecular structures of polymers with their physical and mechanical properties, friction and wear of polymers, and also developed the fundamentals of the mechanics of metal-polymer systems, calculation and design of metal-polymer products.

АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ

УДК 621.395.74

В. Г. ШЕВЧУК, доцент, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; А. Н. БЕЛЬСКИЙ, магистрант, первый заместитель начальника службы, Служба сигнализации и связи Белорусской железной дороги, г. Минск

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМ СВЯЗИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НА БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

Показано, что для удовлетворения потребности по передаче информации всех эксплуатационных служб на Белорусской железной дороге необходимо проводить модернизацию систем связи и передачи данных с переходом на волоконно-оптические линии связи, технологии пакетной передачи данных в транспортной сети связи и централизацию процессов по содержанию устройств связи и передачи данных.

Удовлетворение потребностей по передаче информации всех эксплуатационных служб на Белорусской железной дороге диктует необходимость проведения модернизации существующих систем связи и передачи данных дороги. Это является актуальной задачей в связи с развитием Евро-Азиатской интермодальной транспортной системы с учетом экономических санкций, введенных против Союзного государства Беларуси и России, а также цифровизации экономики нашей страны.

Рассмотрим основные перспективные направления модернизации систем связи и передачи данных на Белорусской железной дороге.

1 Строительство волоконно-оптических линий связи.

Для построения цифровых сетей связи, соответствующих требованиям по пропускной способности и надежности, возможности резервирования каналов связи существующей первичной сети Белорусской железной дороги, необходимо строительство базовой инфраструктуры (волоконно-оптических линий связи) на участках:

– Брест – Жабинка – Лунинец (решение задач по бесперебойной работе каналов связи Брестского, Барановичского, Лунинецкого и Калинковичского железнодорожных узлов);

– Полоцк – Молодечно (решение задач по бесперебойной работе каналов связи Витебского, Полоцкого, Молодечненского железнодорожных узлов);

– Лида – Молодечно (решение задач по бесперебойной работе каналов связи Лидского железнодорожного узла);

– Витебск – Езерище (решение задач по бесперебойной работе каналов связи Минск – Москва).

При реализации ВОЛС на данных участках необходимо предусматривать укладку волоконно-оптического кабеля емкостью до 48 волокон для предоставления всех видов связи и организации передачи данных на основных объектах железнодорожной инфраструктуры (станциях, разъездах, остановочных пунктах, постах КТСМ и т. п.).

Строительство ВОЛС на остальных участках Белорусской железной дороги целесообразно осуществлять при необходимости замены выработавших свой ресурс кабельных, воздушных линий связи, систем передачи с комплексным решением задач по модернизации инфраструктуры железнодорожных участков.

2 Переход от транспортной сети SDH (с временным разделением каналов) к транспортной сети, использующей технологию пакетной передачи данных.

В настоящее время первичная сеть связи дороги построена на базе оборудования синхронной цифровой иерархии (SDH). Первые участки совместно с оборудованием Единой сети передачи данных (ЕСПД) были введены в эксплуатацию в 2004 г., что обуславливает высокий процент его износа (рисунок 1).

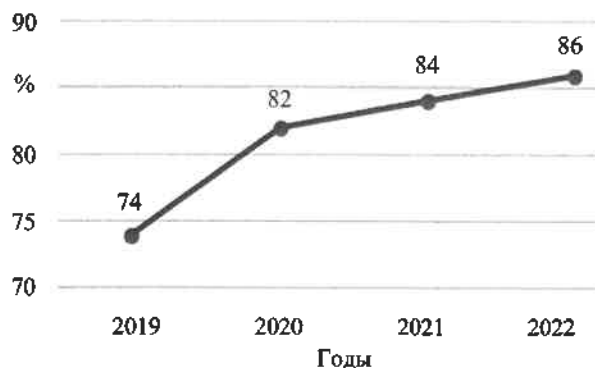


Рисунок 1 – Процент износа технических средств цифровой первичной сети связи и Единой сети передачи данных с 2019 г. по настоящее время

В связи с тем, что потребители услуг связи используют ресурсы первичной сети связи (транспортной сети) для построения сетей передачи данных (ЕСПД; сети передачи данных систем видеонаблюдения; сети передачи данных ИРЦ; телеуправление и телесигнализация объектов инфраструктуры служб электрификации и электроснабжения, сигнализации и связи; а также другие технологические и информационные системы различного назначения), для построения транспортной сети целесообразно использовать оборудование, работающее по технологии пакетной передачи данных. Использование технологии пакетной передачи данных на всех уровнях (транспортной сети и сети доступа) позволит уменьшить количество технических средств и в целом повысит надежность работы системы. На этапе перехода оборудование транспортной сети, использующее технологию пакетной передачи данных, должно быть совместимо с существующим оборудованием SDH.

При дальнейшем развитии, реализации механизмов информационной безопасности на транспортной сети

следует планировать применение типового активного сетевого оборудования [6].

Анализ работы ЕСПД показал ежегодное увеличение загрузки существующих магистральных каналов передачи данных, приближающееся на некоторых участках к максимальному значению (рисунок 2).

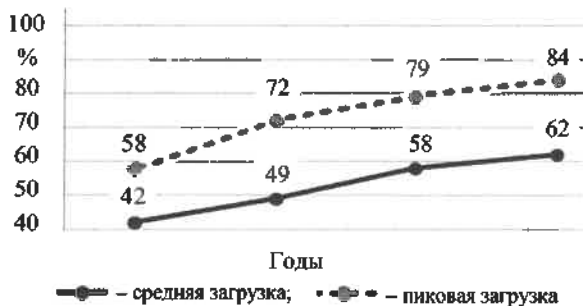


Рисунок 2 – Средняя и пиковая загрузки трактов ЕСПД с 2019 г. по настоящее время

Переход к строительству транспортной сети, использующей технологию пакетной передачи данных, позволит решить вопрос износа существующей ЕСПД и удовлетворения потребности пользователей информационных систем в пропускной способности ЕСПД.

3 Построение закрытых сетей передачи данных и вторичных сетей связи.

Для обеспечения надежной работы критически важных для функционирования железнодорожного транспорта закрытых сетей передачи данных и вторичных сетей связи (ДЦ, ТУ-ТС, ОТС и т. п.) такие сети следует строить с использованием выделенных оптических волокон, логически или физически изолированных сегментах транспортной сети, использующей технологию пакетной передачи данных. Эффективного использования волоконно-оптических линий связи (в первую очередь существующих) можно достичь за счет применения технологии спектрального уплотнения каналов (одноволновые SFP WDM модули, пассивные WDM мультиплексоры/демультиплексоры).

4 Модернизация сети оперативно-технологической связи.

В настоящее время на Белорусской железной дороге оперативно-технологическая связь реализована на базе TDM-сетей. В границах дороги установлены стационарные коммутаторы ОТС (465 комплектов), увязанные первичными цифровыми каналами уровня E1, каналами тональной частоты в аналоговых и цифровых системах передачи и физическими цепями кабельных и воздушных линий связи.

Но стоит отметить, что на некоторых станциях участков присутствуют коммутаторы устаревшего типа КАСС-ДСП, КАСС-ДСЦ (18 комплектов). Аппаратура данного типа, блоки и модули для нее, сняты с производства. В дистанциях сигнализации и связи имеется ограниченная номенклатура ЗИП. В связи с этим ограничены возможности по изменению конфигурации диспетчерских кругов. Замена данных станционных коммутаторов является приоритетной в области модернизации оперативно-технологической связи.

Дальнейшее развитие сети ОТС следует вести путем модернизации коммутаторов ОТС с переходом с аналоговых линий связи на цифровые (E1) в соответствии с

имеющимися ресурсами транспортной сети связи. Совместно с производителями оборудования (в том числе с локализованным производством в Республике Беларусь) Службой сигнализации и связи дороги ведется проработка вопросов, связанных с организацией линий ОТС в волоконно-оптических кабелях без применения стороннего оборудования линейного тракта, а также стыковки с сетями с пакетной коммутацией.

5 Модернизация сети автоматической телефонной связи.

Сеть автоматической телефонной связи включает 80 АТС цифровой, электронной системы и системы с пакетной коммутацией. На рисунках 3 и 4 приведены гистограммы, характеризующие динамику ее развития.

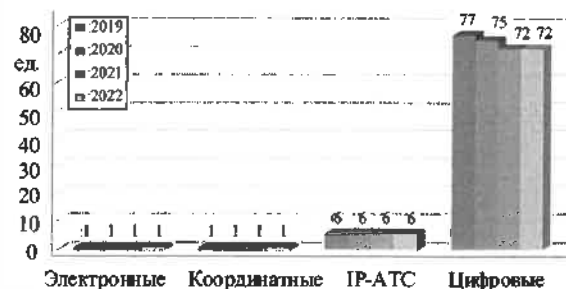


Рисунок 3 – Динамика количества АТС по типам с 2019 г. по настоящее время

В настоящее время 48 АТС (60 %) выработали свой срок эксплуатации. В том числе требуют оперативной замены АТС Гомельского (введена в эксплуатацию в 1995 г.), Минского (2000 г.) и Барановичского (2006 г.) железнодорожных узлов.

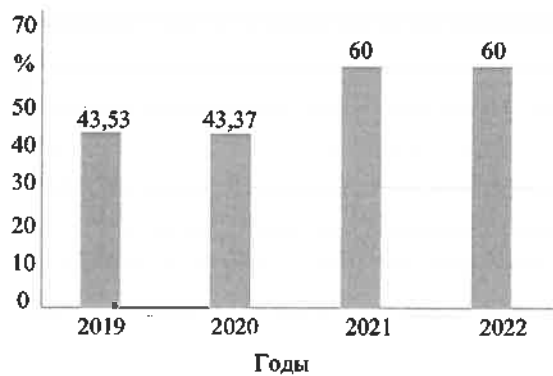


Рисунок 4 – Динамика амортизации АТС БЖД с 2019 г. по настоящее время

В связи с запретом, введенным странами ЕС, на поставку телекоммуникационного оборудования, дальнейшее развитие сети автоматической телефонной связи предполагает замену выработавших свой срок АТС на АТС производства Республики Беларусь или Российской Федерации, а также за счет перераспределения существующей свободной абонентской емкости. Преимущество при выборе производителя будет отдаваться отечественному производителю [1, 2]. На Белорусской железной дороге уже сформирована ремонтная база, имеется опыт эксплуатации отечественных цифровых АТС типа АТСЭ ФМ.

Произведен технико-экономический анализ вариантов замены АТС Гомельского железнодорожного узла

типа MD110. Были рассмотрены варианты приобретения новой АТСЭ ФМ на 2000 абонентов, перераспределения свободной абонентской ёмкости IMS-платформы (NGN) Могилевской дистанции сигнализации и связи, а также вариант закрытия АТС с передачей абонентов железнодорожной сети автоматической телефонной связи на обслуживание АТС РУП «Белтелеком». За основу для экономических расчётов бралась нагрузка на сеть телефонной связи абонентами за период с марта 2021 г. по февраль 2022 г. включительно.

В результате анализа установлено, что наиболее выгодным по экономическим показателям вариантом является перераспределение свободной абонентской ёмкости существующих АТС, при исключении АТС, выработавших свой ресурс. В данном варианте вывода из эксплуатации устаревшей АТС MD110 не происходит обновление технических средств сети автоматической телефонной связи, а решение проблемы переносится на некоторый срок.

Наименее выгодным с экономической точки зрения вариантом решения проблемы является передача абонентов железнодорожной сети автоматической телефонной связи на обслуживание АТС РУП «Белтелеком». В сравнении с расходами на приобретение и эксплуатацию новой АТС ёмкостью 2000 номеров за срок эксплуатации (15 лет) расходы на телефонную связь превысят таковые в сопоставимых условиях на 408 тыс. руб. (или на 32,04 %).

Программное и аппаратное обеспечение серверов IMS-платформ Могилевского и Витебского отделений дороги позволяет производить обработку вызовов до пятидесяти тысяч абонентов каждое с возможностью объединения платформ в единую систему для обеспечения отказоустойчивости. Дальнейшее развитие сети телефонной связи при изменении технической и экономической ситуации необходимо производить за счет строительства, а также расширения существующей IMS-платформы (NGN) на опорных станциях отделений Белорусской железной дороги.

6 Модернизация технологической радиосвязи.

Общая протяженность сети поездной радиосвязи в настоящее время составляет 5564 км, 230 станций из 363 оборудованы сетями станционной радиосвязи.

Анализ состояния эксплуатируемых технических средств технологической радиосвязи показывает, что в эксплуатации с истекшими сроками службы находится 18 % стационарных, 56 % локомотивных (возимых) и 50 % портативных (носимых) радиостанций.

Из находящихся в эксплуатации 2692 локомотивных радиостанций выработали срок службы 1505, или 56 %, из 1325 комплектов стационарных радиостанций поездной и станционной радиосвязи – 238 комплектов, или 18 %, из 7226 комплектов портативных (носимых) радиостанций – 3594, или 50 %.

В соответствии с СТП БЧ 19.366–2017 «Организация ремонта технических средств в хозяйстве сигнализации и связи, сроки службы и межремонтные сроки основных устройств и оборудования железнодорожной автоматики, телемеханики и связи» срок службы составляет: стационарных радиостанций – 20 лет, локомотивных радиостанций – 15 лет, носимых (портативных) радиостанций – 10 лет [3]. На рисунке 5–7 приведены гистограммы динамики состояния радиостанций.

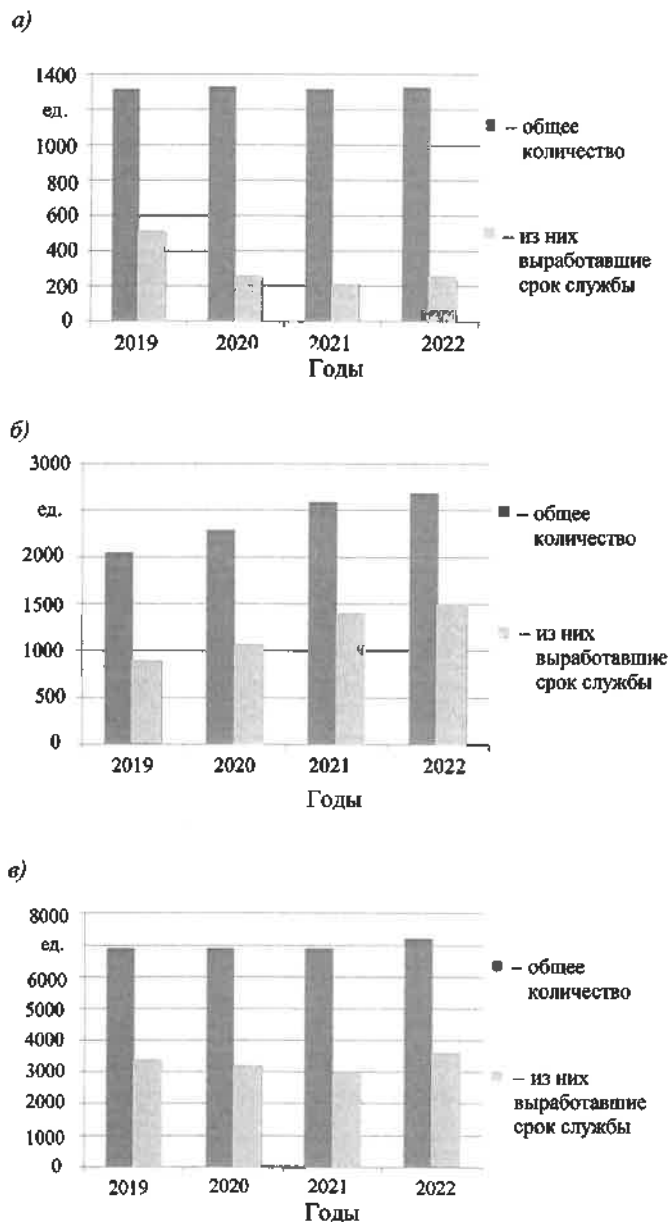


Рисунок 5 – Количество и износ радиостанций с 2019 по настоящее время: а – стационарных; б – возимых; в – носимых

Переоснащение парка радиостанций, особенно стационарных и локомотивных, необходимо проводить ввиду большой их изношенности, ухудшения эксплуатационных характеристик, увеличения количества отказов радиостанций, отсутствия производства запасных частей (РС-6, 4ЗРТС, 71РТС, 42РТМ, РВ-1.1).

Поездная радиосвязь организована в гектометровом диапазоне волн 2 МГц и является аналоговой. В данном диапазоне поездная радиосвязь имеет низкую помехозащищенность от промышленных помех, особенно при электротяге переменного тока с использованием подвижного состава с асинхронными двигателями, а также не позволяет реализовать передачу данных с подвижного состава.

Станционная (маневровая, горочная, ПТО, коммерческого осмотра, воензированной охраны и др.) радиосвязь организована в диапазоне 160 МГц. В диапазоне

частот 151,775–154 МГц, выделенном для железнодорожных сетей радиосвязи, уже практически не осталось свободных частот для организации новых сетей радиосвязи. При этом часть из этих частот может быть повторно использована лишь при условии ввода значительного защитного интервала.

Поэтому актуальной становится задача поиска нового частотного диапазона.

Стоит отметить, что с увеличением скоростей движения, существующая аналоговая симплексная радиосвязь не обеспечит качественную передачу речевого сигнала. Также аналоговая радиосвязь не позволяет дистанционно осуществлять контроль (мониторинг) за работой оборудования для своевременного выявления недостатков в его работе [5].

Таким образом, используемая на Белорусской железной дороге аналоговая радиосвязь уже не удовлетворяет возросшим требованиям как по надежности, так и по помехозащищенности.

Вопрос необходимости создания на дороге цифровой системы радиосвязи, позволяющей избавиться от недостатков аналоговой связи, является в данный момент особо острым.

Вопрос выбора стандарта цифровой радиосвязи достаточно сложный.

В настоящее время в рамках Регионального сотрудничества в области связи (РСС) разработан проект отчета «Использование систем связи на железнодорожном транспорте в странах – участниках РСС», который отражает обобщенную информацию по использованию систем железнодорожной радиосвязи в странах РСС: Россия, Армения, Беларусь, Кыргызстан, Казахстан, Молдова, Таджикистан, Узбекистан.

Рассмотрены мировые тенденции в области развития систем связи на железнодорожном транспорте. Рекомендаций по применению конкретных стандартов радиосвязи на железнодорожном транспорте стран – участников РСС не представлено.

Также Министерством связи и информатизации Республики Беларусь в целях обеспечения выполнения программы деятельности Правительства Республики Беларусь на период до 2025 г., утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 24.12.2020 г. № 758, разработана стратегия внедрения в Республике Беларусь сетей сотовой подвижной электросвязи пятого поколения (5G). При этом учитывались мировые тенденции развития сотовой связи и международный опыт создания и внедрения данных сетей.

По состоянию на начало 2022 г. в мире на конкурентной основе в 86 странах уже запущены 188 коммерческих сетей стандарта 5G, которые созданы действующими операторами сотовой связи и операторами традиционных услуг стационарного широкополосного доступа [7].

В данной стратегии учитывается применение технологий 5G на инфраструктуре Белорусской железной дороги. Охват территории Республики Беларусь сетью 5G в течение 5 лет с момента выделения радиочастотного спектра будет составлять 95 % [1].

Учитывая сложившиеся обстоятельства, на Белорусской железной дороге следует рассмотреть возможность применения цифрового стандарта GSM пятого поколения, который позволит реализовать необходимый функционал для организации поездной и маневровой работы.

На Российских железных дорогах применяются следующие цифровые стандарты технологической радиосвязи: GSM-R, TETRA и DMR [4].

В перспективе рассматривается применение стандарта FRMCS (FRMCS – Future Railway Mobile Communication System) который будет базироваться на коммуникационных решениях 5G [7].

7 Централизация процессов по содержанию устройств связи и передачи данных.

Для выполнения возрастающих по мере цифровизации Белорусской железной дороги требований к функциональности, надежности, безотказности и защищенности телекоммуникационных систем Службой сигнализации и связи дороги предложено рассмотреть в качестве одного из направлений развития – централизацию отдельных процессов по содержанию устройств связи и передачи данных (далее – централизация).

Централизацию предложено осуществлять на базе Дорожного центра управления сети связи и передачи данных.

В настоящее время в Дорожном центре управления сети связи и передачи данных находятся на обслуживании: 23 узла ЕСПД, 1 центр обработки данных, 261 мультиплексор SDH, 14 измерительных модулей системы автоматического мониторинга магистральных волоконно-оптических кабелей (протяженность волоконно-оптических кабелей, находящихся под контролем данной системы, составляет 2651 км), 23 устройства тактовой сетевой синхронизации, 18 систем управления и мониторинга дорожного уровня и др.

Централизацию предложено реализовывать по двум основным направлениям: техническое и организационное, с соблюдением требований информационной безопасности.

Процесс централизации необходимо проводить поэтапно по мере реализации объектов строительства и инвестиционных программ, используя Дорожный центр управления сети связи и передачи данных в качестве единого центра (далее – Единый центр):

1 Техническое направление.

1.1 Строительство транспортной сети Белорусской железной дороги, использующей технологию пакетной передачи данных и обеспечивающей автоматическое резервирование каналов связи и передачи данных.

1.2 Организация локального отказоустойчивого центра обработки данных Единого центра для обеспечения централизации и автоматизации отдельных процессов по содержанию устройств связи.

1.3 Внедрение в Едином центре специализированных программно-аппаратных комплексов для удаленного контроля систем и внешних факторов, влияющих на их работоспособность (электроснабжение устройств связи, предотказное состояние, температурный и пропускной режимы и т. д.).

1.4 Обеспечение на вновь вводимых участках комплекса технических мероприятий, позволяющих удаленно выводить информацию в существующую систему мониторинга Единого центра в объеме, достаточном для выполнения возлагаемых на него функций.

2 Организационное направление.

2.1 Выполнение всего комплекса работ по содержанию транспортных сетей и выделенных функций по удаленному контролю устройств вторичных сетей связи специалистами Единого центра.

2.2 Обеспечение перераспределения функций по содержанию устройств вторичных сетей связи между Единым центром и дистанциями сигнализации и связи с разработкой алгоритмов взаимодействия.

2.3 Наличие в Едином центре дополнительных работников (смен), специализирующихся на вопросах круглосуточного удаленного контроля за устройствами вторичных сетей связи.

Для обеспечения информационной безопасности предлагается установить на стыке ЕСПД с внешними сетями передачи данных (интернет, сторонние организации) специализированный программно-аппаратный комплекс, обеспечивающий защиту от внешних угроз.

Рассмотренные направления модернизации существующих систем связи и передачи данных дороги станут фундаментом «интеллектуальной» железной дороги.

Список литературы

1 Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 24.12.2020 № 758 «Об утверждении Программы деятельности Правительства Республики Беларусь на период до 2025 года» в части развития сетей оптоволоконных линий связи, сотовой связи по технологии 4G, реализация пилотных проектов сотовой связи по технологии 5G и спутниковой связи в целях развертывания цифровой трансформации во всех сферах жизнедеятельности. – Минск, 2020. – 56 с.

Получено 27.05.2022

V. G. Shevchuk, A. N. Belsky. Promising areas of modernization of communication and data transmission systems on the Belarusian Railway.

It is shown that in order to meet the information transmission needs of all operational services on the Belarusian Railway, it is necessary to modernize communication and data transmission systems with the transition to fiber-optic communication lines, packet data transmission technologies in the communication transport network and centralization of processes for the content of communication and data transmission devices.

2 Проект отчета Регионального содружества в области связи (РСС) «Использование систем связи на железнодорожном транспорте в странах – участниках РСС». Стратегия сотрудничества государств – участников СНГ в построении и развитии информационного общества на период до 2025 г. и План действий по ее реализации на период до 2025 г., Стратегия обеспечения информационной безопасности государств – участников Содружества Независимых Государств на период до 2030 г. – М., 2020.

3 СТП БЧ 19.366–2017 «Организация ремонта технических средств в хозяйстве сигнализации и связи, сроки службы и межремонтные сроки основных устройств и оборудования железнодорожной автоматики, телемеханики и связи». – Минск, 2017.

4 Компьютерное моделирование разговорного тракта системы GSM-R / В. Г. Шевчук [и др.] // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2014. – № 2 (29). – С. 15–17.

5 Шевчук, В. Г. Исследование уровней радиосигнала в гектометровых каналах поездной радиосвязи с волноводными направляющими линиями / В. Г. Шевчук, И. О. Жигалин, А. В. Карпов // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – № 1 (38). – 2019. – С. 4–6.

6 Активное сетевое оборудование: виды и принцип работы [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://secondlife.ru/aktivnoe-setevoe-oborudovanie-vidy-i-princip-raboty.html>. – Дата доступа : 12.04.2022.

7 FRMCS и 5G для железнодорожного транспорта: проблемы, достижения и перспективы [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://docviewer.yandex.by> – Дата доступа : 13.05.2022.

УДК 007.51: 621.317.1

В. Г. ШЕВЧУК, доцент, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; А. В. ВЕСЕЛОВ, заместитель начальника по связи, Полоцкая дистанция сигнализации и связи Белорусской железной дороги

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ТЕСТИРОВАНИЯ И УЧЕТА АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ В ДИСТАНЦИЯХ СИГНАЛИЗАЦИИ И СВЯЗИ

Описан разработанный аппаратно-программный комплекс тестирования и учета аккумуляторных батарей в дистанциях сигнализации и связи для автоматизированного контроля их работоспособности и прогнозирования срока службы аккумуляторных батарей с целью оптимизации затрат на их своевременную замену.

Устройства технологической связи Белорусской железной дороги относятся к потребителям особой группы электроприемников первой категории электроснабжения, нарушение электроснабжения которых может привести к несоблюдению требований безопасности движения поездов, повреждению дорогостоящих устройств и оборудования, создать опасность для жизни людей и пр. Перерыв в их электроснабжении допускается лишь на время автоматического ввода резервного питания. Для особой группы электроприемников первой категории необходимо наличие трех независимых источников питания.

В качестве третьего независимого источника питания особой группы применяются источники вторичного электроснабжения 24, 48, 60 В с аккумуляторными батареями (АКБ) различных типов.

Поддержание АКБ в технически исправном состоянии, своевременное выявление батарей, параметры которых не соответствуют техническим требованиям и их замена, составление перспективных планов замены АКБ на основе динамики изменения технических характеристик являются основными задачами обслуживающего персонала.

Основные типы АКБ и области их применения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные типы АКБ и их применение

Тип АКБ	Основные области применения
Свинцово-кислотные (Lead Acid)	Железная дорога, ИБП, телекоммуникации, электроэнергетика, авиация, электротранспорт, автомобили, промышленность, альтернативная энергетика, пожарная и охранная сигнализация, аварийное освещение, медтехника и т. д.
Никель-кадмиевые (NiCad)	Электротранспорт, авиация, строительные электроинструменты
Никель-металлогидридные (NiMH)	Электротранспорт
Литий-ионные (Li ion)	Электротранспорт, мобильные устройства, строительные электроинструменты
Литий-полимерные (Li pol)	Электротранспорт, мобильные устройства

Основным методом контроля технических характеристик АКБ при плановом техническом обслуживании является контроль рабочего напряжения АКБ и резервной (остаточной) емкости при проведении контрольного разряда [1, 6] (рисунок 1).

По величине резервной емкости производится оценка технического состояния батарей и степень деградации ее элементов.

Измерение остаточной емкости производится путем контрольного разряда АКБ в течение 10 ч постоянным током при постоянном контроле напряжения на АКБ.



Рисунок 1 – Методы диагностики АКБ

У штатно работающих АКБ со временем внутреннее сопротивление начинает расти [4].

Причины увеличения внутреннего сопротивления следующие:

- повышенная температура эксплуатации;
- истечение («высыхание») электролита;
- сульфатация в результате многократных перезарядок;
- коррозия решеток пластин;
- разрушение активного вещества положительных электродов;
- повышенные токи разряда (тепловая деформация пластин).

Значительное снижение внутреннего сопротивления АКБ относительно базового значения – один из признаков неисправности батареи [3, 5] (рисунок 2).



Рисунок 2 – Изменение внутреннего сопротивления АКБ в зависимости от срока службы

Разработано устройство автоматическое разрядное (УАР), предназначенное для автоматизированного контроля емкости АКБ с выводом результатов тестирования на дисплей и формированием файлов отчета результатов тестирования на карте памяти (рисунок 3).

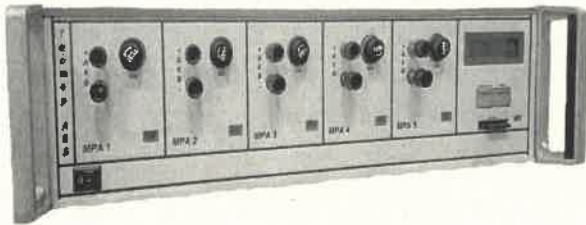


Рисунок 3 – Внешний вид УАР

На этапе проектирования разрядного устройства было принято решение о разработке модульной конструкции.

УАР конструктивно представляет собой устройство, состоящее из пяти автономных разрядных модулей (МРА1–МРА5), модуля индикации и управления МИУ и submodule питания.

Все модули представляют собой устройства на базе однокристальных микроконтроллеров семейства Atmega, работающие под управлением программ, зашитых в энергонезависимой памяти микроконтроллеров.

От модулей МРА в МИУ по шине передается информация о текущем состоянии параметров, тестируемых АКБ, результаты самотестирования модулей, служебная информация.

К УАР подключается внешний датчик температуры для возможности корректировки номинальной емкости в зависимости от температуры в помещении, в котором производится контроль емкости АКБ.

Управление работой модуля МИУ осуществляется при помощи клавиатуры на лицевой панели УАР.

Вся информация о работе УАР отображается на жидкокристаллическом дисплее.

При достижении напряжения на АКБ установленно значения разряд автоматически прекращается.

Работа каждого модуля МРА контролируется по светодиодным индикаторам на лицевой панели УАР.

Модуль МРА производит аварийное отключение АКБ в следующих случаях:

- превышение разрядного тока значения 15 А;
- обрыв внешней цепи, подключенной к АКБ;
- неисправность цепей измерения тока или напряжения;

– остановки или снижения оборотов вентилятора охлаждения менее 60 % от номинального значения.

Для повышения точности измерений при расчете остаточного напряжения учитывается сопротивление внешних проводов, которыми аккумулятор подключается к модулю МРА.

Подпрограмма просмотра и анализа данных позволяет просматривать текущую информацию о системах электропитания, выполнять сортировку данных по различным критериям, осуществлять анализ сроков эксплуатации АКБ, планировать их замену по сроку службы или в зависимости от их технического состояния.

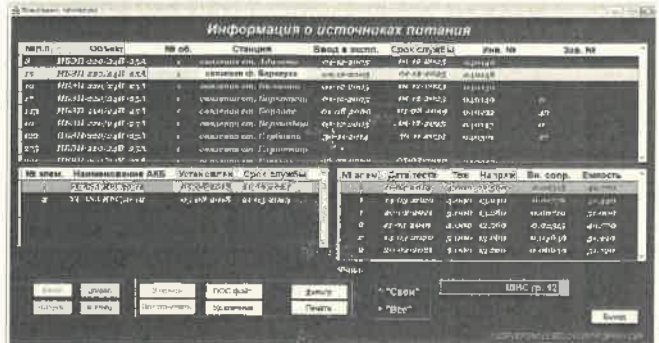
Доступ к ПО осуществляется по индивидуальным паролем, что позволяет производить редактирование данных только «своих» устройств.

Просмотр данных возможно производить в режиме «Гость» любому пользователю, у которого установлено ПО.

Скриншоты результатов автоматизированного тестирования АКБ, карточек учета АКБ и контрольного разряда АКБ, протокола учета контрольного разряда АКБ приведены на рисунках 4, 5.

При необходимости данные по источникам питания, а также протоколы измерений параметров АКБ возможно выдать на печать.

а)



б)



Рисунок 4 – Скриншот результатов автоматизированного тестирования АКБ (а) и карточки учета АКБ (б)

а)



б)



Рисунок 5 – Скриншот карточки учета (а) и протокола (б) контрольного разряда АКБ

Выходные формы после обработки данных программной частью комплекса соответствуют требованиям СТП БЧ 19.254–2013 «Порядок обслуживания стационарных свинцово-кислотных аккумуляторов закрытого типа» [2].

Аппаратно-программный комплекс введен в эксплуатацию в Полоцкой дистанции сигнализации и связи Белорусской железной дороги в 2019 г.

Проведенная работа позволила сформулировать следующие выводы:

– использование современных АКБ малообслуживаемого и необслуживаемого типов требует безусловного использования вторичных источников электроснабжения со встроенными средствами автоматизированного контроля параметров АКБ и возможностью их удаленного мониторинга;

– аккумуляторные батареи необходимо формировать на основе идентичности технических характеристик каждого элемента батареи, в первую очередь – фактической емкости и внутреннего сопротивления;

– прогнозирование срока службы АКБ с целью оптимизации затрат на их своевременную замену невозможно без создания баз данных, с функцией формирования отчетов динамики изменения технических характеристик.

Внедрение системы автоматизированного контроля учета параметров и динамики изменения технических характеристик АКБ позволяет снизить затраты на их

эксплуатацию и, как следствие, повысить надежность работы устройств технологической связи.

Список литературы

1 ГОСТ МЭК 60896-2–2002. Свинцово-кислотные стационарные батареи. Общие требования и методы испытаний. Ч. 2. Закрытые типы. – Минск : Госстандарт. – 20 с.

2 СТП 19.254–2013. Порядок обслуживания стационарных свинцово-кислотных аккумуляторов закрытого типа.

3 Веселов, А. В. Программно-аппаратный комплекс автоматизированного тестирования и учета аккумуляторных батарей в дистанции сигнализации и связи железной дороги / А. В. Веселов, В. Г. Шевчук // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф. Ч. 1. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 186–188.

4 Старение свинцовых аккумуляторов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://at-systems.ru/quest/new-quest/battery-aging-y.shtml>. – Дата доступа : 05.05.2022.

5 Чупин, Д. П. Резонансный метод измерения внутреннего сопротивления аккумуляторных батарей / Д. П. Чупин // Электроэнергетика и приборостроение: современное состояние, перспективы развития и подготовка кадров : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Петропавловск : СКГУ им. М. Козыбаева – 2011. – С. 61–63.

6 Vehicle Lead-Acid Battery State-of-Charge Meter (Измеритель уровня заряда автомобильной свинцово-кислотной аккумуляторной батареи) / J. Scott [et al.] // 37th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, IECON. – 2011. – P. 1–5.

Получено 27.05.2022

V. G. Shevchuk, A. V. Veselov. Hardware and software complex for testing and accounting of batteries in alarm and communication distances.

The developed hardware and software package for testing and accounting of batteries in signaling and communication distances for automated monitoring of their operability and forecasting the service life of batteries in order to optimize the costs of their timely replacement is described.

УДК 621.3.027.3

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

АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ТЕХНИКИ ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ МЕТОДОМ ТЕОРЕМ СЛОЖЕНИЯ

Рассматривается вопрос о получении аналитических решений задач расчета электростатического поля, необходимых для отладки и верификации программно-математического обеспечения численных методов расчета электростатических полей. Кроме того, указанные задачи могут использоваться для предварительного анализа электростатического поля в установках высокого напряжения. Показано, что современный уровень развития метода разделения переменных в уравнении Лапласа дает возможность разработки единой методики постановки модельных задач и их решения. Показано использование теорем сложения для переразложения потенциала в системах сферических координат, связанных с центрами сфер. Такое переразложение позволяет удовлетворить граничным условиям, получить систему алгебраических уравнений для коэффициентов разложения потенциалов в ряды по полиномам Лежандра. Предлагаемая методика может найти широкое применение в научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработках техники высоких напряжений.

Различные установки высокого напряжения находят широкое применение в электроэнергетике, в частности на электрифицированных железных дорогах. От их работы зависит бесперебойное энергообеспечение и штатное функционирование электрифицированных участков железных дорог [1]. Безаварийная работа установок высокого напряжения во многом обеспечивается на этапе их проектирования. Современные методы проектирования этих установок включают расчеты электростатического поля в них и основаны на численных методах [2, 3]. Эти методы реализуются в программных комплексах. При разработке программно-математического обеспечения необходимым этапом становится отладка и верификация. Одним из способов проверки работы программного обеспечения является решение на компьютере задач, которые также имеют аналитическое решение [2]. Тем не менее в работах по расчету электростатических полей технических установок [2–4] такие задачи представлены в крайне незначительном количестве. Работы, в которых получены аналитические решения задач о расчете электростатических полей, являются либо исследованиями по физике [5], либо ориентированы на проблемы электромагнитного экранирования [6, 7]. Современный уровень развития метода разделения переменных решения уравнения Лапласа для потенциала электростатического поля [8] позволяет выработать единую методику постановки и решения задач о расчете электростатических полей в системах с осевой симметрией. Эти задачи могут использоваться для верификации программно-математического обеспечения расчета электростатических полей. Кроме того, они могут служить для предварительного расчета и анализа поля в установках высокого напряжения. Разработка этой методики является задачей, которая решается в статье.

По данным анализа литературных источников в качестве базовых объектов, из которых формируются электродинамические системы, способные служить моделями высоковольтных установок, выбраны: сфера [9–12], заряженная круговая нить [10, 13], точечный заряд [10, 14], электрический диполь [13, 15]. На основании [9] предполагается, что электростатические поля

электродинамических систем обладают осевой симметрией, то есть все объекты в системе лежат на общей оси. Для потенциалов полей сфер справедливы выражения [10], удовлетворяющие уравнению Лапласа:

– для металлической сферы

$$u_{out} = \sum_{k=1}^{\infty} a_k \left(\frac{R}{r}\right)^{k+1} P_k(\cos\Theta); \quad (1)$$

– для диэлектрической сферы

$$u_{out} = \sum_{k=1}^{\infty} a_k \left(\frac{R}{r}\right)^{k+1} P_k(\cos\Theta), \quad (2)$$

$$u_{in} = \sum_{k=1}^{\infty} b_k \left(\frac{r}{R}\right)^k P_k(\cos\Theta), \quad (3)$$

где u_{in} – внутренний потенциал, В; u_{out} – внешний потенциал, В; a_k, b_k – коэффициенты разложения; r – расстояние, м; R – радиус сферы, м; $P_k(\cos\Theta)$ – полином Лежандра, Θ – угловая сферическая координата, рад; k – счетная переменная.

Для металлической сферы с диэлектрическим покрытием значительной толщины внешний потенциал выражается по формуле (2), а внутренний – по формуле [12, 16]

$$u_{in} = \sum_{k=1}^{\infty} \left(c_{1k} \left(\frac{r}{R}\right)^k + c_{2k} \left(\frac{R}{r}\right)^{k+1} \right) P_k(\cos\Theta), \quad (4)$$

где c_{1k}, c_{2k} – коэффициенты разложения.

В формулах (1)–(4) все коэффициенты нормированы к $1/4\pi\epsilon_a$, где ϵ_a – абсолютная диэлектрическая проницаемость среды.

На поверхности раздела сфер с различными электрофизическими свойствами выполняются известные граничные условия [10] для проводников и изоляторов.

Выражения для потенциала электростатического поля точечного заряда, электрического диполя и круговой заряженной нити хорошо известны. Они приведены, в частности, в [10, 17].

Отличительной особенностью анализа установок высокого напряжения является необходимость учета наличия поверхности земли, потенциал которой принят равным

нулю. Учесть граничное условие для поверхности земли наиболее просто методом зеркальных изображений. Отражения в плоскости точечного заряда и заряда круговой нити хорошо известны [17]. Отражение сферы и электрического диполя осуществляются, как частные случаи отражения сферы, потенциал которой выражается через сферические гармоники [18]. Таким образом, для потенциала сферы-отражения из (1) получается формула

$$u_{\text{отт}} = \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^{k+1} a_k \left(\frac{R}{r}\right)^{k+1} P_k(\cos \Theta). \quad (5)$$

Для отражения диполя потенциал исходного диполя выражается через полиномы Лежандра [15]

$$u = \frac{p}{r^2} P_1(\cos \Theta), \quad (6)$$

где p – электрический момент диполя, Кл/м.

Тогда потенциал диполя отражения

$$u' = \frac{p}{r^2} P_1(\cos \Theta'). \quad (7)$$

Видно, что знак момента электрического диполя при отражении не меняется.

Предполагается, что источники электростатического поля находятся вне объемов сфер. Тогда в пространстве R^3 , включающем как исходные, так и отраженные объекты, выделяются области: D_m – внутри металлических сфер, D_d – внутри диэлектрических сфер, а также область $D = R^3 / D_m \cup D_d$. В областях D_d потенциал электростатического поля рассчитывается по (3), если сфера состоит из диэлектрика, или по (4), если сфера металлическая с диэлектрическим покрытием. В области D существует суммарный потенциал, являющийся суперпозицией потенциалов полей всех объектов. Причем потенциал поля металлической сферы выражается по (1), а диэлектрической сферы – по (2). Требуется получить выражения для этих потенциалов и найти неизвестные коэффициенты рядов по сферическим функциям. Коэффициенты находятся так, чтобы выражения для потенциалов удовлетворяли граничным условиям на поверхностях раздела введенных выше областей.

Для проведения расчетов с центрами сфер и с точками расположения источников электростатического поля связываются локальные сферические системы координат. Для удовлетворения граничным условиям на внешней границе сферы Γ потенциалы поля остальных сфер и источников электрического поля выражаются в системе координат рассматриваемой сферы с помощью теорем сложения [10, 19].

Так, для потенциалов поля точечного заряда, диполя, сферы применяются теоремы сложения (202.3.3) при пересчете сверху вниз и (201.3.3) при пересчете снизу вверх [10, 19], так как эти теоремы справедливы при $r < a$, где a – расстояние между центрами двух сферических систем координат, сдвинутыми по оси z системы глобальных координат. При записи граничных условий на поверхностях сфер выполняется это условие применения теорем сложения.

Для заряженной круговой нити в [10] на основании теоремы сложения (200.3.3) [19] получено выражение, справедливое при $r < \sqrt{a^2 + R_0^2}$, где R_0 – радиус нити,

$$u = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n 2\pi\tau R_0}{(\sqrt{a^2 + R_0^2})^{n+1}} P_n\left(\frac{a}{R_0}\right) r^n P_n(\cos \Theta), \quad (8)$$

где n – счетная переменная.

В формуле (8) линейная плотность заряда нормирована к $1/4\pi\epsilon_a$.

Полученные разложения записываются на граничной поверхности сферы Γ и подставляются в граничные условия. В результате преобразований методом усечения [20] получается система алгебраических уравнений для отыскания неизвестных коэффициентов рядов по сферическим функциям.

Следует отметить, что рассмотрение незамкнутых оболочек в предлагаемой методике возможно, но это приведет к необходимости решения интегральных уравнений, что потребует использования численных методов [8]. Поэтому для проверки программно-математического обеспечения, реализующего численные методы расчета электростатических полей, такие модели дают не столь убедительный результат, как модели с полностью аналитическими решениями.

Пример постановки и решения задачи.

В пространстве R^3 с диэлектрической проницаемостью среды ϵ_0 над бесконечной проводящей плоскостью поверхности земли, в котором введена система координат $Oxyz$, размещена электродинамическая система, состоящая из объектов (рисунки 1):

- металлическая сфера радиуса R_{01} с диэлектрическим покрытием, образующим сферу радиуса R_{02} ; центр сферы расположен над плоскостью на высоте a_2 ; потенциал металлической сферы постоянен и равен V вольт.

- электрический диполь момента p , ориентированный по оси Oz и расположенный на высоте a_1 над поверхностью земли.

Вводятся обозначения: область $D = R^3 \setminus (\overline{D_1} \cup \overline{D_2})$; Γ_1 – поверхность металлической сферы D_1 ; Γ_2 – поверхность диэлектрического покрытия сферы D_2 ; Γ_3 – поверхность земли. Электростатическое поле в области D описывается потенциальными функциями: u_1 – внешний потенциал поля сферы; u_2 – потенциал поля диполя $u = u_1 + u_2$ – суммарный потенциал поля в области D . Электростатическое поле в области D_2 описывается потенциалом u_0 .

Для поля в областях D и D_2 формулируется краевая задача. Для потенциалов u и u_0 справедливо уравнение Лапласа

$$\Delta u = 0 \text{ в } D; \quad \Delta u_0 = 0 \text{ в } D_2. \quad (9)$$

Граничные условия

$$u_0|_{\Gamma_1} = V, \quad (10)$$

$$u_0|_{\Gamma_2} = u|_{\Gamma_2}, \quad \frac{\partial u}{\partial n}|_{\Gamma_2} = \frac{\partial u_0}{\partial n}|_{\Gamma_2} \quad (11)$$

$$u|_{\Gamma_3} = 0. \quad (12)$$

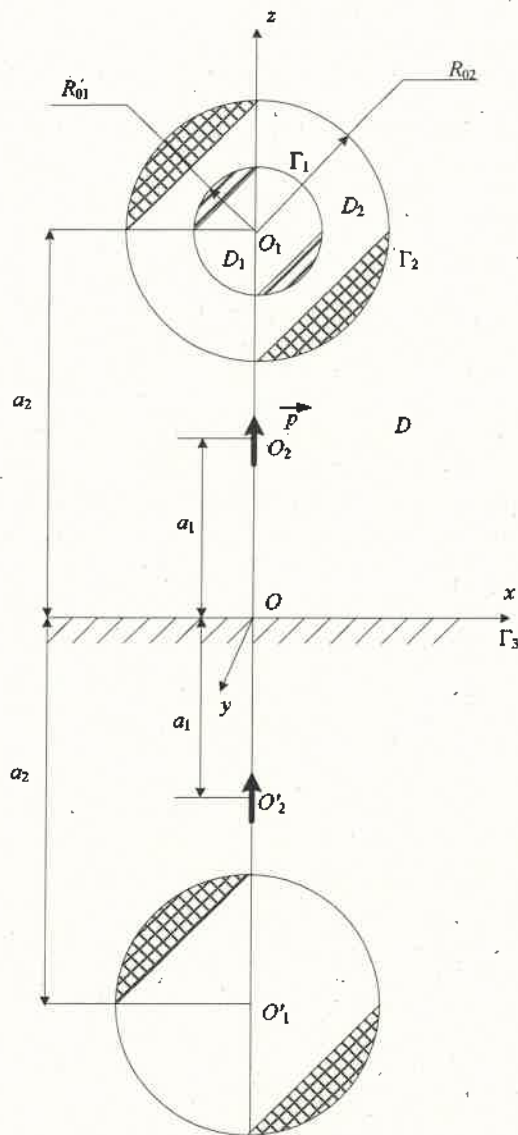


Рисунок 1 – Электродинамическая система к примеру расчета

Для решения задачи (9) потенциал поля сферы в области D ищется в виде (2) и представляется в сферической системе координат, связанной с точкой O_1 . Потенциал диполя задается в виде (6) в сферической системе координат, связанной с точкой O_2 . Потенциал поля сферы в области D_2 ищется в виде (4) и представляется в сферической системе координат, связанной с точкой O_1 . Условия на бесконечности и в центре сферы, таким образом, выполняются автоматически.

Для выполнения граничного условия (12) вводятся зеркальные отображения точек O_1 и O_2 . Тогда потенциал отражения сферы u_1 задается в виде (5), потенциал отражения диполя u_2 – в виде (7).

Для удовлетворения граничному условию (10) в формуле (4) $r = r_1 = R_{01}$, $P_k(\cos \Theta) = 1$ при $k = 0$ и члены с $P_k(\cos \Theta) = 0$ если $k \neq 0$. Тогда из (4) следует

$$c_{20} = V - c_{10} \quad c_{2k} = -c_{1k}. \quad (13)$$

Тогда выражение для u_0 имеет вид и удовлетворяет граничному условию (10)

$$u_0 = V \frac{R_{01}}{r_1} + \left(1 - \frac{R_{01}}{r_1}\right) c_{01} +$$

$$+ \sum_{m=1}^{\infty} c_{1m} \left[\left(\frac{r_1}{R_{01}}\right)^m - \left(\frac{R_{01}}{r_1}\right)^{m+1} \right] P_m(\cos \Theta_1), \quad (14)$$

где Θ_1 – угловая координата в сферической системе координат с центром в O_1 , m – счетная переменная.

Коэффициенты в (14) и в (2) применительно к данной задаче выбираются так, чтобы удовлетворить граничным условиям (11). Для чего потенциалы диполя, отражения диполя в земле и отражения сферы в земле переразлагаются в системе координат O_1 по теореме сложения (201.3.3) [19]. В результате получаются разложения

$$u_2 = p \sum_{m=0}^{\infty} (-1)^m \frac{(m+1)}{(a_2 - a_1)^{m+1}} r_1^m P_m(\cos \Theta_1), \quad (15)$$

$$u'_2 = p \sum_{m=0}^{\infty} (-1)^m \frac{(m+1)}{(a_2 + a_1)^{m+1}} r_1^m P_m(\cos \Theta_1), \quad (16)$$

$$u'_1 = \sum_{n=0}^{\infty} a_n (R_{02})^{n-1} (-1)^{n+1} \times \\ \times \left(\sum_{m=1}^{\infty} (-1)^m \frac{(n+m)}{n! m! (2a_2)^{n+m+1}} r_1^m P_m(\cos \Theta_1) \right). \quad (17)$$

Разложения (15)–(17) и выражения потенциалов сферы (2) и (14) подставляются в граничные условия (11). После преобразований и приравнивания коэффициентов при одинаковых гармониках $P_k(\cos \Theta)$ [10] получаются сумматорные уравнения для отыскания коэффициентов разложений

$$m = 0$$

$$a_0 \left(1 + \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^{n+1} \frac{R_{02}^{n+2}}{(2a_2)^{n+1}} \right) + p \left(\frac{1}{(a_2 - a_1)^2} + \frac{1}{(a_2 + a_1)^2} \right) = \\ = V \frac{R_{01}}{R_{02}} + \left(1 + \frac{R_{01}}{R_{02}} \right) c_{10}; \quad (18)$$

$$\frac{a_0}{R_{02}} = -V \frac{R_{01}}{R_{02}^2} + \frac{R_{01}}{R_{02}^2} c_{10}; \quad (19)$$

$$m \neq 0$$

$$\sum_{m=1}^{\infty} a_m + p (-1)^m (m+1) R_{02}^m \left(\frac{1}{(a_2 - a_1)^{m+2}} + \frac{1}{(a_2 + a_1)^{m+2}} \right) + \\ + \sum_{n=0}^{\infty} a_n R_{02}^{2n+2m+1} (-1)^{n+m+1} \frac{(n+m)!}{n! m! (2a_2)^{n+m+1}} = \\ = \sum_{m=1}^{\infty} c_{1m} \left[\left(\frac{R_{02}}{R_{01}}\right)^m - \left(\frac{R_{01}}{R_{02}}\right)^{m+1} \right]; \quad (20)$$

$$\sum_{m=1}^{\infty} a_m + p (-1)^m (m+1) R_{02}^m \left(\frac{1}{(a_2 - a_1)^{m+2}} + \frac{1}{(a_2 + a_1)^{m+2}} \right) + \\ + \sum_{n=0}^{\infty} a_n R_{02}^{2n+2m+1} (-1)^{n+m+1} \frac{(n+m)!}{n! (m-1)! (2a_2)^{n+m+1}} = \\ = \sum_{m=1}^{\infty} c_{1m} \left[\frac{m R_{02}^{m-1}}{R_{01}^m} + R_{01}^{m+1} R_{02}^{-(m+2)} (m+1) \right]. \quad (21)$$

Из уравнений (18)–(21) методом усечения может быть получена система алгебраических уравнений для

отыскания коэффициентов разложений и получения рядов, в которых удержано необходимое для получения требуемой точности число членов [20].

Описание методики аналитического решения задач расчета электростатического поля в системах соосных металлических и диэлектрических сфер и пример расчета приводят к выводу, что предлагаемая методика позволяет поставить и решить большое число задач с различным числом сфер и источников электростатического поля. При этом учитывается существенный для технических задач фактор – наличие поверхности земли. Такие задачи с достаточной степенью точности приближения соответствуют конструкциям установок высокого напряжения. Поэтому эти задачи могут использоваться как для отладки программно-математического обеспечения расчета электростатических полей, так и для предварительного анализа электростатического поля в технических устройствах. Методика основана на современном и постоянно развивающемся математическом аппарате – теоремах сложения, поэтому допускает дальнейшее развитие и обобщение. В частности, методика может быть перенесена на случай низкочастотных квазистатических электрических полей. В этом случае решение задачи расчета электрического поля ищется в потенциальном приближении, рассматриваются сферы из несовершенного диэлектрика, на поверхности которых заданы усредненные граничные условия для потенциала поля [10]. Всё это делает возможным широкое использование предлагаемой методики в научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработках в области техники высоких напряжений.

Следует отметить, что сравнительная простота применяемых математических методов открывает возможность использования этой методики в учебных целях при изучении таких дисциплин, как «Теоретические основы электротехники», «Техника высоких напряжений», «Инженерная электрофизика».

Список литературы

- 1 Чайкина, Л. П. Техника высоких напряжений / Л. П. Чайкина. – М. : Учебно-методический центр по образованию на ж.-д. трансп. – 2005. – 229 с.
- 2 Расчет электрических полей устройств высокого напряжения / И. П. Белоусова [и др.] ; под ред. Е. С. Колечникова. – М. : Издат. дом МЭИ, 2016. – 248 с.
- 3 Гримальский, О. В. Расчет электрических полей изоляционных конструкций / О. В. Гримальский, В. Л. Иванов. – Кишинев : Штинница, 1988. – 106 с.
- 4 Техника высоких напряжений: теоретические и практические основы применения / М. Бейер [и др.]. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 553 с.
- 5 Cisneros, F. Analytic solutions for harmonic potentials involving concentric charged dielectric spheres: Master of science thesis / F. Cisneros. – Houston : Texas A&M University, 2018. – 54 p.
- 6 Шушкевич, Г. Ч. Экранирование электростатического поля системой экранов: сплюснутая незамкнутая эллипсоидальная оболочка – плоскость с круговым отверстием / Г. Ч. Шушкевич // Вестник Гродненского государственного университета им. Янки Купалы. Серия 2. Математика, физика, информатика, вычислительная техника и управление. – 2018. – Т. 8, № 1. – С. 52–59.

Получено 01.04.2022

D. V. Komnatny. Analytical solution of electrostatic fields calculation problems of high voltage engineering by additional theorem method.

The obtaining of analytical solutions of electrostatic field calculations problems is considered. These problems are necessary for electrostatic fields calculations numerical methods software program debugging. Besides that, shown problems can be used for preliminary analysis of electrostatic fields in high-voltage installations. It is shown, that modern standard of variable separation method for Laplace equation gives the possibility of common methods for statement and solving model problems creation. The use of addition theorems for potential redecomposition in spherical coordinates systems is shown. Such redecomposition allows to satisfy boundary conditions, obtain the algebraic equations system for expansions into Legendre polynomial series coefficients. There fore, proposed methods can found a wide application in scientific-research and engineering development of high voltage engineering.

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

УДК 656.13.05

С. А. АЗЕМША, кандидат технических наук, Т. В. ГРИЩЕНКО, магистр техники и технологии, О. О. ЯСИНСКАЯ, магистр техники и технологии, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ КООРДИНИРОВАННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПО ул. СОВЕТСКОЙ г. ГОМЕЛЯ

Центральные улицы современных городов Республики Беларусь являются местом повышенных потерь в дорожном движении. Это обусловлено узкой проезжей частью в местах сложившейся застройки и ростом автомобилизации населения. В таких условиях реконструкция с уширением проезжей части невозможна. Кроме того, как показывает практика, подобные меры являются дорогостоящими, временными и в перспективе, с дальнейшим ростом автомобилизации, ситуация усугубляется вновь. Одним из недорогостоящих способов повышения эффективности дорожного движения в подобных условиях является введение координированного регулирования.

В данной статье исследована ул. Советская г. Гомеля: проведены натурные исследования транспортных и пешеходных потоков, геометрии перекрестков, построена модель магистрали в программе ArteryLite. С помощью такой модели оптимизированы параметры координированного регулирования.

Введение. Улица Советская начинается от перекрестка с ул. Билецкого и ул. Трудовой и заканчивается у перекрестка с ул. Объездной. Протяженность участка составляет около 7,3 км. Так как ул. Советская соединяет Центральный и Железнодорожный районы, а здесь сконцентрировано большое количество промышленных предприятий, улица является одной из самых нагруженных по транспортной интенсивности и пассажиропотоку.

Последний раз расчет параметров координированного регулирования для ул. Советской проводился в 2011 году. За это время существенно изменился уровень автомобилизации, возросло население г. Гомеля, произведен ряд реконструкций (перекрестки с ул. Ефремова, ул. Троллейбусной и др.), изменены скоростные режимы движения, внесены изменения в схемы организации дорожного движения (ОДД) на некоторых объектах. Всё это является существенными предпосылками, обосновывающими актуальность пересмотра и оптимизации параметров координированного регулирования светофорными объектами (СФО) по ул. Советской.

Постановка задачи. На исследуемом участке расположено 24 СФО. Из них 10 объектов являются четырехсторонними перекрестками, 7 – трехсторонними перекрестками, 4 – регулируемые пешеходными переходами, расположенными на перегонах, 3 – сложными регулируемые перекрестками (РПК) (пересечения ул. Советской с пр. Победы и пл. Восстания, ул. Кирова и ул. Малайчука, ул. Ефремова). На шести объектах реализованы трехфазные циклы регулирования, на остальных – двухфазные. Предусмотрена реализация по часам суток 9 программ координации (ПК).

На всём протяжении исследуемый участок имеет скоростное ограничение до 50 км/ч, установленное дорожным знаком «Ограничение максимальной скорости». Исключения составляют два участка в направлении движения от пл. Ленина в сторону ул. Федонинского:

- 1) от перекрестка с ул. Коммунаров до перекрестка с ул. Крестьянской;
- 2) через 30 м после регулируемого пешеходного перехода возле средней школы № 34 до перекрестка с ул. Троллейбусной.

На этих двух участках установлено максимальное ограничение скорости 40 км/ч.

Анализ существующего СФР показал, что на СФО, входящих в группу координации по ул. Советской г. Гомеля, не действует координированное регулирование, что подтверждается разными значениями продолжительности цикла светофорного регулирования (СФР) на этих перекрестках. Также установлено, что количество рабочих программ (РП) на разных перекрестках неодинаково и варьируется от одной до трех, что с высокой вероятностью не может обеспечивать подстройку регулирования под колебания интенсивностей как по часам суток, так и по дням недели. Кроме того, сомнения вызывает продолжительность переходных интервалов на некоторых СФО.

Для расчета параметров светофорного и координированного регулирования на СФО по ул. Советской, создания модели этого объекта в ArteryLite необходимы данные о геометрических характеристиках СФО, входящих в группу координации, а также существующих схемах ОДД на них. Такие параметры получены путем натурального обследования СФО, входящих в группу координации. В результате этого обследования созданы модели исследуемых СФО.

Анализ схем ОДД на СФО по ул. Советской показал, что на большинстве перекрестков запрещен поворот налево на входах со стороны ул. Советской. Это обусловлено, вероятно, необходимостью обеспечения достаточного уровня пропускной способности СФО. Часть таких перекрестков расположена не в стесненных условиях и позволяет предусмотреть реконструкцию с уширением проезжей части и выделением левоповоротных полос (например, перекресток с ул. Головацкого, Кожара, Тимофеенко и т. д.). Другая часть СФО, расположенная в исторической части города, возможностями к уширению не располагает.

Для оценки существующей транспортной нагрузки на ул. Советской было проведено натурное исследование транспортных и пешеходных потоков в один будний день (вторник 14.09.2021), одну субботу (18.09.2021) и одно воскресенье (19.09.2021). Обследования интенсивностей транспортных и пешеходных по-

токов на СФО ул. Советской производились путем подсчета количества транспортных средств (ТС), подъезжающих с каждого входа на СФО, и пешеходов, движущихся в каждом направлении на каждом пешеходном переходе 10 мин в течение каждого часа в период с 6:00 до 22:00. Установлено, что наибольшая транспортная нагрузка наблюдается на перегоне от перекрестка с ул. Хатаевича до перекрестка с ул. Рогачевской (рисунок 1). В утренний час пик буднего дня на этом перегоне наблюдается порядка 2130 авт./ч в направлении от ул. Обьездной к пл. Ленина. В вечерний час пик транспортная нагрузка доходит до 1879 авт./ч, но в обратном направлении. Максимальная суточная интенсивность в будний и выходные дни наблюдается на этом же перегоне и достигает 21 тыс. авт./сут в будний день, 17,1 тыс. авт./сут в субботу и 14,3 тыс. авт./сут в воскресенье.

Также произведен анализ востребованности введенных относительно недавно диагональных пешеходных переходов на перекрестке с ул. Ланге и ул. Трудовой (рисунок 2). Расчеты показывают, что всего за период наблюдения им воспользовалось порядка 20,6 % от общего числа пешеходов, переходивших проезжую часть на данном перекрестке. При этом во вторник им воспользовалось 23,6 % пешеходов, в субботу – 20,2 %, а в воскресенье – 14,7 %. Тест на значимость различий по доле пешеходов, пользующихся диагональными пешеходными переходами по критерию Уилкоксона, показал отсутствие статистической значимости таких различий (рисунок 3). Это говорит об отсутствии зависимости в доле пешеходов, пользующихся диагональными пешеходными переходами от дня недели.

Для оценки динамики изменения интенсивностей транспортных потоков полученные при обследовании данные о существующих интенсивностях транспортных потоков были сравнены с их аналогичными значениями, полученными в 2011 г. Результаты такого сравнения показывают (таблица 1), что максимальный рост транспортной нагрузки составляет 65 % и наблюдается на перекрестке с ул. Комсомольской в период с 7:00 до 8:00. На перекрестке ул. Советской с ул. Федюнинского, а также на перекрестке с ул. Кирова в период с 7:00 до 8:00 наблюдается падение интенсивности в 2021 г. по сравнению с 2011 г. Это объясняется масштабной реконструкцией перекрестка ул. Советской с ул. Ефремова, на котором интенсивность выросла на 34,5 %. Установлено, что в среднем интенсивность движения по рассмотренным РПК ул. Советской в 2011 г. составляла 2528,1 авт./ч, а в 2021 – 3031,1 авт./ч. Таким образом, по рассмотренным объектам наблюдения средний рост интенсивности составил 20,6 %. Тест на значимость различий значений интенсивностей в двух зависимых выборках (значения интенсивностей в 2011 и в 2021 гг., рисунок 4) показал статистическую значимость таких различий. Основой такого роста транспортной нагрузки стал рост автомобилизации в Гомельской области, который составил в 2021 г. 27,2 % по сравнению с уровнем 2011 г. Существующий уровень автомобилизации нельзя назвать высоким, поэтому разумным будет предположить дальнейшее ее увеличение и, как следствие, рост транспортной нагрузки на ул. Советской. Учитывая ограниченность пространства в исторической застройке ул. Советской и невозможность ее уширения, следует

предусматривать перспективные пути повышения пропускной способности. Оптимизация параметров координированного регулирования с реализацией диагональных пешеходных переходов является одним из таких путей.

Основная часть.

На основании данных, полученных при обследовании транспортных и пешеходных потоков по ул. Советской г. Гомеля, построена модель работы этой улицы в программном продукте ArteryLite.

При создании модели ул. Советской учитывались расстояния между СФО по ул. Советской, количество полос движения на каждом входе и их ширина, разрешенные направления движения по полосам, интенсивность и состав ТП по направлениям движения, интенсивность пешеходного потока, разрешенные скорости движения, существующие циклы СФО и ПК, выделенные перед перекрестком полосы для поворота налево/направо, остановочные пункты, влияющие на поведение транспортного потока (ТП), вертикальные уклоны (подъемы и спуски) [1].

Построенная модель позволила получить критерии оценки функционирования объекта координации при существующих условиях регулирования. В качестве таких критериев выступали следующие [2].

1 Системные характеристики для всей магистрали (таблица 2):

- средняя задержка, с/авт.;
- остановки полные, авт./ч (%);
- количество перенасыщенных сегментов – число сегментов на магистрали, на которых интенсивность превышает пропускную способность;
- расход топлива, л/ч – суммарное количество топлива, потребляемое всеми ТС при движении по всему объекту моделирования;
- индекс эффективности (DI/PROS) – отношение индекса невыгодности (DI) к показателю беспрепятственного движения (PROS). Индекс невыгодности (DI) – комплексный показатель, учитывающий неблагоприятные факторы (остановки, задержки, расход топлива). Показатель беспрепятственного движения (PROS) – это количественный критерий, характеризующий способность транспорта следовать через несколько перекрестков подряд без остановок.

2 Локальные характеристики для каждого регулируемого СФО и для каждого входа на него:

- средняя задержка, с/авт. – разница во времени движения через регулируемый СФО с фактической скоростью (с учетом снижения скорости, остановок и т. д.) и с максимально допустимой скоростью;
- остановки полные, авт./ч (%) – количество автомобилей, остановившихся в единицу времени, авт./ч, или отношение количества автомобилей, остановившихся в единицу времени к суммарному числу автомобилей, проехавших через этот же перекресток в единицу времени (%);
- расход топлива, л – суммарное количество топлива, расходуемое за анализируемый период при проезде через перекресток всеми ТС;
- уровень сервиса – укрупненная характеристика ТП, показывающая условия движения в нем и учитывающая соотношения между интенсивностью, скоростью и плотностью.

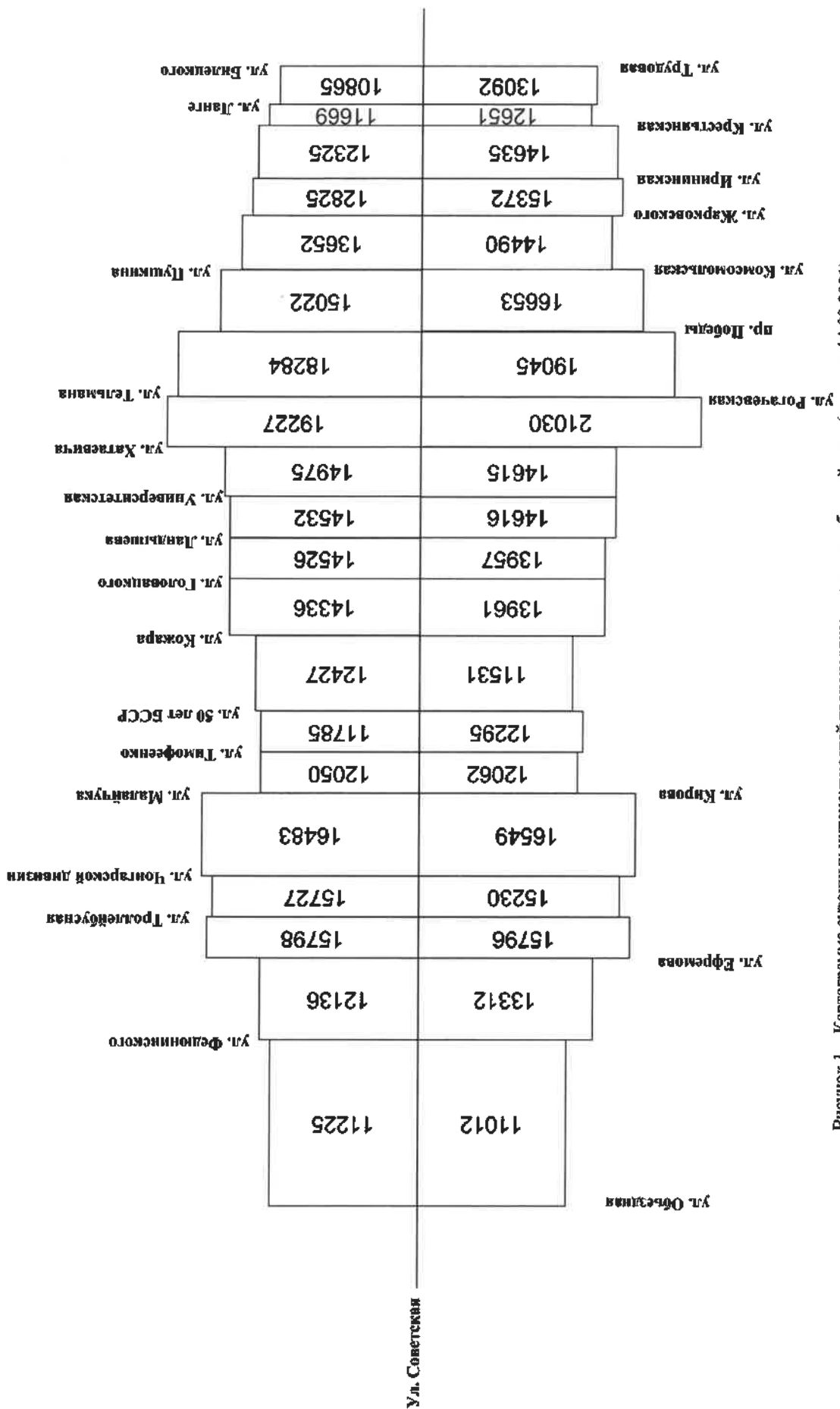


Рисунок 1 – Картограмма суточных интенсивностей транспортных потоков в будний день (вторник 14.09.2021)

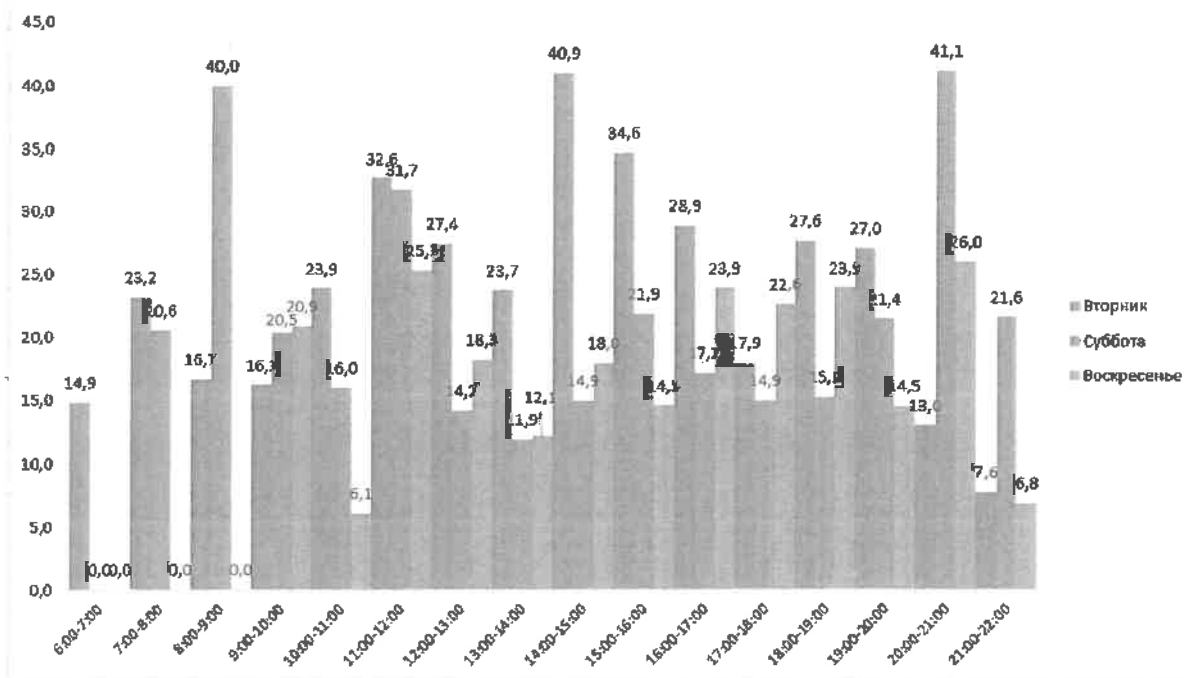


Рисунок 2 – Доля пешеходов, пользующихся диагональными пешеходными переходами

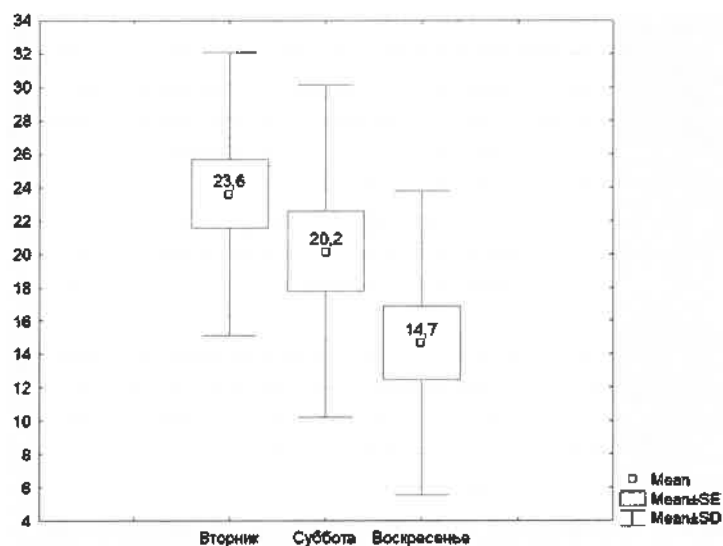


Рисунок 3 – Сравнение доли пешеходов, пользующихся диагональными пешеходными переходами по дням недели

Таблица 1 – Сравнение транспортной нагрузки в 2011 и 2021 гг.

Объект	Часы суток	Интенсивность, авт./ч		Рост, %	
		2011	2021		
Советская – Трудовая	7:00–8:00	1980	2615	32,1	21,3
	13:00–14:00	1644	1911	16,2	
	17:00–18:00	2184	2618	19,9	
	19:00–20:00	1596	1835	15,0	
Советская – Крестьянская	7:00–8:00	1848	2471	33,7	29,2
	13:00–14:00	1656	1867	12,7	
	17:00–18:00	2124	2864	34,8	
	19:00–20:00	1356	1821	34,3	
Советская – Первомайская (Ирининская)	7:00–8:00	1872	2918	55,9	29,9
	13:00–14:00	1728	2245	29,9	
	17:00–18:00	2664	3204	20,3	
	19:00–20:00	1776	2074	16,8	
Советская – Комсомольская	7:00–8:00	1644	2713	65,0	24,1
	12:00–13:00	2124	2473	16,4	
	17:00–18:00	2856	3142	10,0	
	19:00–20:00	1728	2035	17,8	

Окончание таблицы 1

Объект	Часы суток	Интенсивность, авт./ч		Рост, %	
		2011	2021		
Советская – Победы	7:00–8:00	2816	3114	10,6	13,8
	13:00–14:00	2460	2629	6,9	
	17:00–18:00	2874	3613	25,7	
	19:00–20:00	2190	2411	10,1	
Советская – Рогачевская	7:00–8:00	3066	3804	24,1	18,8
	13:00–14:00	2754	2844	3,3	
	17:00–18:00	3306	4085	23,6	
	19:00–20:00	2454	3023	23,2	
Советская – Хатаевича	8:00–9:00	3358	5032	49,9	31,0
	13:00–14:00	3132	3353	7,1	
	17:00–18:00	4452	5829	30,9	
	19:00–20:00	3498	4696	34,2	
Советская – Кирова	7:00–8:00	3944	3747	-5,0	7,5
	13:00–14:00	2919	2997	2,7	
	17:00–18:00	3764	4809	27,8	
	19:00–20:00	2587	2653	2,6	
Советская – Ефремова	7:00–8:00	3166	3863	22,0	34,5
	13:00–14:00	2644	3295	24,6	
	17:00–18:00	3264	4599	40,9	
	19:00–20:00	1848	2935	58,8	
Советская – Федюнинского	7:00–8:00	2904	2566	-11,6	-7,5
	13:00–14:00	2052	1764	-14,0	
	17:00–18:00	3168	3117	-1,6	
	19:00–20:00	1723	1659	-3,7	

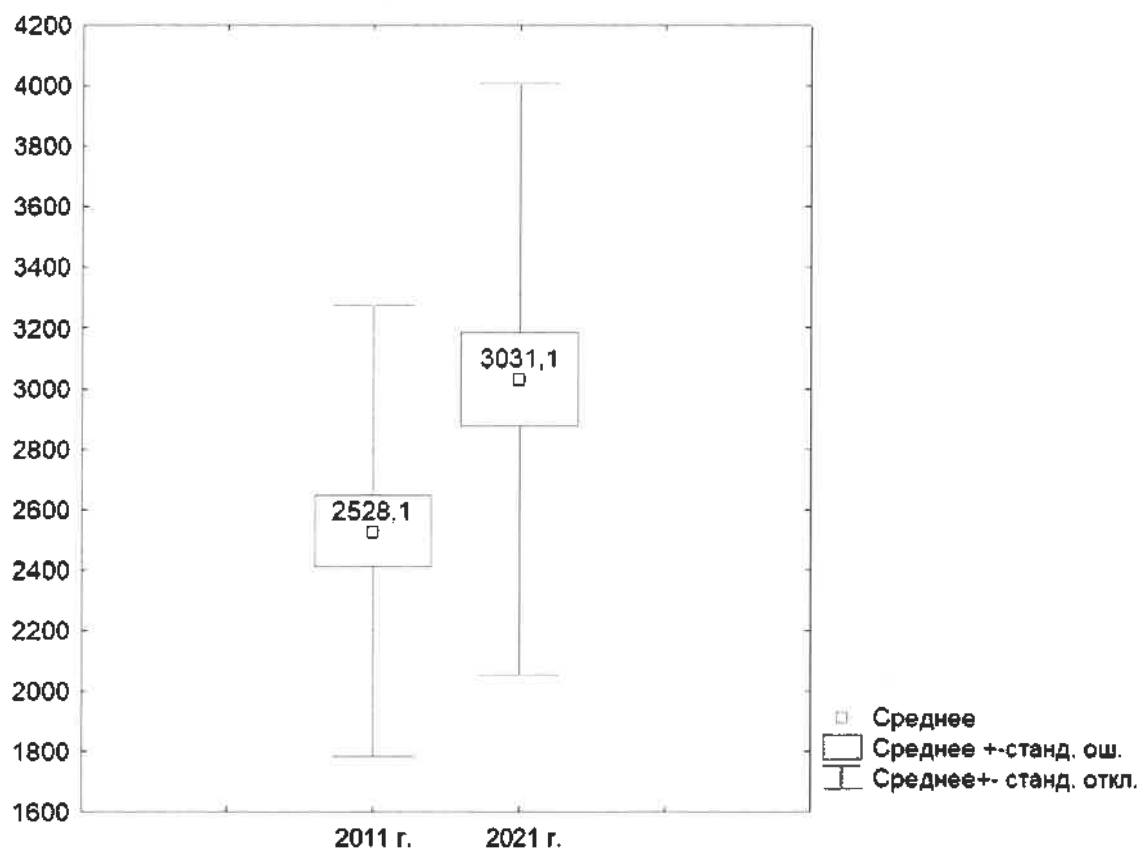


Рисунок 4 – Диаграмма размаха интенсивностей в 2011 и 2021 гг.

Таблица 2 – Системные характеристики функционирования всей магистрали при существующих параметрах КР

Период	Средняя задержка с/авт.	Остановки		Количество перенасыщенных сегментов, ед.	Средняя скорость, км/ч	Расход топлива, л	Индекс эффективности
		количество	%				
Вторник (14.09.2021)							
6:00–7:00	10,6	8552	43	0	31,8	924	0,4154
7:00–8:00	17,8	32233	50	3	25,2	3364	0,0754
8:00–9:00	14,1	30776	51	0	28	2992	0,1013
9:00–10:00	12,2	24447	48	0	29,9	2403	0,1393
10:00–11:00	12,9	26174	49	0	28,6	2551	0,1259
11:00–12:00	13,1	25458	48	1	28,4	2540	0,125
12:00–13:00	13,1	26230	49	1	27,8	2562	0,1242
13:00–14:00	15,8	23560	47	1	26,5	2510	0,1094
14:00–15:00	13,6	26782	49	1	27,9	2670	0,1171
15:00–16:00	12,9	30715	50	1	28,6	3009	0,1087
16:00–17:00	13,7	31562	52	0	28,1	3055	0,1033
17:00–18:00	31,1	43701	59	7	19,1	4780	0,0373
18:00–19:00	19,2	33488	53	2	24	3357	0,0714
19:00–20:00	19,8	23812	49	2	24,4	2610	0,0889
20:00–21:00	11,3	18334	45	0	29,4	1885	0,1848
21:00–22:00	10,8	9268	44	0	31,8	960	0,377
Суббота (18.09.2021)							
6:00–7:00	10,5	5918	44	0	32,5	632	0,6113
7:00–8:00	10,1	10553	42	0	31,7	1142	0,3406
8:00–9:00	10,3	13710	43	0	31,6	1476	0,2632
9:00–10:00	11,6	17660	47	0	29,7	1804	0,1961
10:00–11:00	12,6	23341	49	0	28,4	2280	0,1443
11:00–12:00	13,9	26650	50	1	28,2	2636	0,117
12:00–13:00	16,3	27334	51	1	26,2	2753	0,0982
13:00–14:00	13,8	27599	51	1	28,3	2664	0,1158
14:00–15:00	15,3	25106	50	2	27	2477	0,1126
15:00–16:00	14,8	24834	49	1	27,7	2533	0,1155
16:00–17:00	12,9	24408	50	0	28,9	2381	0,1358
17:00–18:00	12,3	21686	48	0	28,6	2157	0,1534
18:00–19:00	11,6	18248	47	0	29,7	1851	0,1885
19:00–20:00	12,7	15179	46	1	29,2	1566	0,2036
20:00–21:00	10,8	13057	43	0	31	1374	0,2651
21:00–22:00	10,1	10155	42	0	31,9	1086	0,3486
Воскресенье (19.09.2021)							
6:00–7:00	10,6	4686	44	0	32,5	496	0,7702
7:00–8:00	9,8	7460	41	0	32,4	819	0,4845
8:00–9:00	9,5	8085	41	0	33	885	0,4535
9:00–10:00	11,5	12824	46	0	29,8	1321	0,2668
10:00–11:00	11,4	15598	46	0	29,4	1621	0,2213
11:00–12:00	11,6	19002	46	0	29,7	1948	0,1796
12:00–13:00	12,3	22516	48	0	29,8	2234	0,1499
13:00–14:00	13,2	22206	49	1	28,6	2197	0,1443
14:00–15:00	12,1	22092	48	0	29,3	2156	0,1557
15:00–16:00	14,1	21763	49	2	28,3	2220	0,1366
16:00–17:00	11,6	19428	47	0	30,2	1963	0,1773
17:00–18:00	11,7	19908	47	0	28,9	2006	0,17
18:00–19:00	11,8	19104	47	0	30,1	1896	0,1786
19:00–20:00	11,5	17258	46	0	30,4	1748	0,1993
20:00–21:00	10,7	12851	43	0	30,6	1365	0,2681
21:00–22:00	10,3	8071	42	0	32,2	848	0,435

По значениям индекса эффективности (см. таблицу 2) установлено, что наибольшие потери в дорожном движении наблюдаются в будний день с 7:00 до 9:00 и с 17:00 до 20:00. Также пониженным значением индекса эффективности характеризуются будний день с 10:00 до 17:00 и суббота с 11:00 до 16:00. Также было установлено следующее.

1 Уровень обслуживания F в общем по СФО наблюдается:

- в будний день с 7:00 до 8:00 на перекрестке с ул. Объездной;
- в будний день с 17:00 до 18:00 на перекрестке с ул. Чонгарской дивизии и на перекрестке с ул. Хатаевича;
- в будний день с 18:00 до 20:00 на перекрестке с ул. Рогачевской и ул. Тельмана.

2 Уровень обслуживания E в общем по СФО наблюдается:

- в будний день с 13:00 до 14:00 и с 17:00 до 18:00 на перекрестке с ул. Рогачевской и ул. Тельмана;
- в субботу с 12:00 до 13:00 на перекрестке с ул. Рогачевской и ул. Тельмана;
- в субботу с 15:00 до 16:00 на перекрестке с пр. Победы.

Детальный анализ результатов моделирования работы этих объектов показал, что из девяти случаев превышения допустимого уровня обслуживания пять (примерно 55 %) приходится на перекресток с ул. Рогачевской и ул. Тельмана. Причем наихудшие условия движения для ТС наблюдаются на входе D при движении прямо и налево, а также на входе С при движении налево.

На следующих этапах при помощи модели улицы Советской г. Гомеля, построенной в программном продукте ArteryLite, моделировалась работа данной магистрали при реализации различных решений по ОДД, а также оптимизировались параметры КР СФО на ней. В качестве функции оптимизации было задано отношение $PROS/DI$ [2, 3]. В качестве метода оптимизации выбран генетический метод. При этом в модели учитывались актуализированные и согласованные с УГАИ УВД Гомельского облисполкома значения переходных интервалов.

Всего смоделировано 34 варианта КР на ул. Советской, 19 из них были исключены из рассмотрения за явной неэффективностью. Остальные 15 вариантов отличались реализацией различных мероприятий по ОДД. Их описание и оценка эффективности приведены в таблице 3. Для выбора оптимальной модели применены методы математической статистики (тесты Вальда – Вольфовица, Колмогорова – Смирнова, Мана – Уитни, корреляционный анализ), реализованные в [4] (таблица 4). Из таблицы 4 видно, что наилучшими параметрами будет обладать модель, в которой:

- исключена ул. Объездная;
- реализованы мероприятия по ул. Рогачевской;
- сокращено время включения разрешающего зеленого сигнала при переходе через ул. Советскую;
- ликвидирован один переход через ул. Советскую на некоторых Т-образных перекрестках.

Из таблицы 3 этим условиям соответствуют модели 8–10, 13–15. УГАИ УВД Гомельского облисполкома со-

гласован 9-й вариант. Для этого варианта предусмотрена реализация следующих мероприятий:

- исключение из координации перекрестка с ул. Объездной;
- изменение схемы ОДД на перекрестке с ул. Рогачевской;
- диагональные пешеходные переходы на перекрестке с ул. Ланге;
- сокращение времени работы разрешающего зеленого при переходе через ул. Советскую на ряде пешеходных переходов;
- ликвидация пешеходного перехода через ул. Советскую на перекрестке с ул. Чонгарская дивизия (со стороны пл. Ленина), на перекрестке с ул. Тимофеенко (со стороны ул. Федюнинского), на перекрестке с ул. Головацкого (со стороны ул. Федюнинского).

Всего было рассчитано 5 ПК для различных дней недели и периодов суток. Для каждой ПК рассчитаны сдвиги включения разрешающего сигнала и светофорные циклы.

Установлено, что реализация предлагаемых мероприятий позволит снизить:

- 1) суммарные задержки на 256 932 авт·ч /год;
- 2) суммарное количество остановок на 10 615 384 ост./год;
- 3) расход топлива на 1 408 940 литров.

Экономический эффект от реализации предложенных мероприятий будет равен 1,44 млн у. е./год.

Заключение и выводы. Проведенные исследования условий движения по ул. Советской г. Гомеля, создание модели данной магистрали в программном продукте ArteryLite позволили оптимизировать параметры координированного регулирования на ней. Одновременно с этим предложен ряд мероприятий по изменению схем ОДД на ряде перекрестков, входящих в группу координации. Расчет экономической эффективности показал, что реализация предложенных мероприятий позволит снизить потери от остановок и задержек транспортных средств на 1,44 млн у. е. в год.

Для дальнейшего снижения потерь в ДД был предложен ряд мероприятий на перспективу.

1 Запретить поворот налево и разворот на перекрестках ул. Советской с ул. Телегина и с ул. Ландышева.

2 Обустроить остановочные пункты заездным карманом на всех остановочных пунктах, расположенных по ул. Советской.

3 Остановочные пункты «Фабрика 8 Марта» и «Ул. Жарковского» (при движении в сторону к площади Ленина) демонтировать и вместо них оборудовать остановочный пункт в виде кармана напротив дома 34 по ул. Советской.

4 Организовать платные парковки.

5 Предусмотреть расширение ПЧ с целью добавления полос для поворота налево на перекрестках ул. Советской с улицами 50 лет БССР, Кожара, Головацкого, Университетской.

6 Пересмотреть начало (окончание) смен (обеденных перерывов) предприятий.

Таблица 3 – Технико-экономические показатели вариантов КР в вечерний час пик будущего дня

№ п/п	Особенности модели										Время цикла, с	Средняя задержка, с/вт.	Средняя скорость, км/ч	Количество остановок, тыс. ед.	Число сегментов с перегрузкой, ед.	Расход топлива, л	PROS	PROS/DI	Минимальная ширина ленты, с	Количество сегментов с уровнем обслуживания		
	Включение перекрестка с ул. Общественной в мостов, дв/нет	Изменение схемы ОДД на перекрестке с ул. Ротавеской, дв/нет	Количество итераций, ед.	Наличие диагональных пешеходных переходов	Сопарвление продолжительности времени включения светофора для пешеходов при переходе через ул. Советскую	Ликвидация одного перехода через ул. Советскую на Т-образных перекрестках	Е	Е	Е													
0	Нет	Нет	0	На перекрестке с ул. Ланге	Нет	Нет	30,7	20,2	41,2	6	4504	23,5	0,0338	0	1	3	2	8				
0	Да	Нет	0	»	Нет	Нет	31,1	19,1	43,7	7	4780	21,8	0,0296	0	1	3	3	8				
1	Да	Да	19000	На перекрестках с ул. Жарковского, Иррининской, Крестьянской, Ланге, Билецкого	Нет	Нет	18,9	24,4	45,4	1	4127	25,8	0,0598	5,58	2	6	0	2				
2	Да	Нет	19000	»	Нет	Нет	20,2	23,8	43,7	2	4148	29	0,07	8,55	2	5	0	7				
3	Да	Да	30000	»	Нет	Нет	19,8	24,1	44,2	1	4177	28,8	0,0613	5,64	2	5	0	5				
4	Нет	да	20000	На перекрестке с ул. Ланге	Да	Нет	17,4	27,7	39,5	1	3700	30,2	0,084	12,88	1	2	0	3				
5	Нет	Нет	10000	»	Да	Нет	18,3	27,1	38,4	2	3735	29,1	0,0833	5,82	1	5	0	3				
6	Нет	Да	30000	На перекрестках с ул. Жарковского, Иррининской, Крестьянской, Ланге, Билецкого	Да	Нет	19,7	26,1	43,9	1	3926	27,4	0,0594	7,28	2	4	0	4				
7	Нет	Да	10000	»	Да	Нет	19,6	25,8	42,8	1	3936	32,2	0,0723	9,27	3	11	0	5				
8	Нет	Да	10000	»	Да	Да	18,4	27	40,6	1	3785	28,1	0,0797	8,37	1	2	0	4				
9	Нет	Да	10000	На перекрестке с ул. Ланге	Да	Да	16,6	28,3	38,8	1	3651	31	0,0959	14,72	1	2	0	1				
10	Нет	Да	20000	На перекрестках с ул. Жарковского, Иррининской, Крестьянской, Ланге, Билецкого	Да	Да	18,8	26,4	38,9	1	3805	34,6	0,093	13,52	3	13	1	3				
11	Да	Да	10000	На перекрестке с ул. Ланге	Да	Да	16,6	25,7	40,7	1	3899	30,3	0,0869	13,02	2	6	0	1				
12	Нет	Да	30000	»	Да	Нет	17	28	39,2	1	3674	30,9	0,0913	14,72	2	4	0	3				
13	Нет	Да	20000	»	Да	Да	16,6	28,3	38,8	1	3650	31,8	0,099	15,81	2	3	0	2				
14	Нет	Да	30000	На перекрестках с ул. Жарковского, Иррининской, Крестьянской, Ланге, Билецкого	Да	Да	18,8	26,4	38,9	1	3805	34,2	0,0879	13,52	3	13	1	3				
15	Нет	Да	30000	»	Да	Да	24,8	23	37,5	2	4094	35,5	0,067	18,72	3	12	1	5				

Таблица 4 – Оценка значимости влияния предложенных мероприятий на показатели функционирования КР на ул. Советской

Критерий	Включение перекрестка с ул. Объездной в модель, да/нет	Реализация мероприятий по ул. Рога-чевской, да/нет	Количество итераций, ед.	Наличие диагональных пешеходных переходов	Сокращение времени включения разрешающего зеленого сигнала при переходе через ул. Советскую в соответствии с СТБ 1300	Ликвидация одного перехода через ул. Советскую на Т-образных перекрестках
Средняя задержка, с/авт.	Нет	Нет	Нет	Нет	Да	Нет
Средняя скорость, км/ч	Да	Нет	Нет	Нет	Да	Нет
Количество остановок, ед.	Да	Нет	Нет	Нет	Да	Да
Число сегментов с перегрузкой, ед.	Нет	Да	Нет	Нет	Нет	Нет
Расход топлива, л	Да	Нет	Нет	Нет	Да	Нет
PROS	Нет	Да	Нет	Нет	Да	Да
PROS/DI	Нет	Нет	Нет	Нет	Да	Да
Минимальная ширина ленты безостановочного движения, с	Нет	Да	Нет	Нет	Да	Да
Е по ул. Советской	Нет	Нет	Да	Нет	Нет	Нет
Е по въездам на ул. Советскую	Нет	Да	Нет	Нет	Нет	Нет
F по ул. Советской	Нет	Да	Нет	Нет	Нет	Нет
F по въездам на ул. Советскую	Нет	Да	Нет	Нет	Нет	Нет

Список литературы

1 Расчет параметров координированного регулирования светофорными объектами по ул. Советская в г. Гомеле. Ч. 1. Сбор данных о работе светофорных объектов, входящих в координацию : отчет о НИР по договору 2/1943 от 14 июля 2021 г. – Гомель : БелГУТ. – 2021. – 646 с.

2 Transyt-7FR. Руководство пользователя (русская версия). – 508 с.

3 ArteryLite. Руководство пользователя. – 101 с.

4 Statistica 13.3. Computer program. Serial number JRR 709H998119TE-A.

5 ArteryLite. Computer program. Serial number 9MBQ2-XJVU4-9KJ5V-BCQGS-4U6YT.

Получено 22.02.2022

S. A. Azemsha, T. V. Hryshchanka, V. O. Yasinskaya. Optimization of parametrs of coordinated regulation on Sovetskaya Street, Gomel.

The central streets of modern cities of the Republic of Belarus are the place of increased losses in traffic. This is due to the narrow roadway in the places of existing development and the growth of motorization of the population. Under such conditions, reconstruction with the widening of the carriageway is not possible. In addition, as practice shows, such measures are expensive, temporary, and in the future, with a further increase in motorization, the situation is aggravated again. One inexpensive way to improve the efficiency of traffic in such conditions is the introduction of coordinated regulation.

In this article, Sovetskaya Street city of Gomel: full-scale studies of traffic and pedestrian flows, geometry of intersections were carried out, a model of the highway was built in the ArteryLite program. Using this model, the parameters of coordinated regulation are optimized.

УДК 656.3.078

С. Н. КАРАСЕВИЧ, кандидат технических наук, С. А. АЗЕМША, кандидат технических наук, Т. В. ГРИЩЕНКО, магистр техники и технологии, О. О. ЯСИНСКАЯ, магистр техники и технологии, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НОРМАТИВНОГО ПРАВОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТАХОГРАФИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Дана оценка современному состоянию системы тахографического контроля и практики нормативного правового регулирования применения тахографов в Республике Беларусь. Приводятся отдельные результаты научно-исследовательской работы по теме «Разработка предложений по применению тахографов в Республике Беларусь и совершенствованию нормативных правовых актов в данной сфере (постановления Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь от 21.02.2008 г. № 8 и от 16.10.2010 г. № 46, постановление Совета Министров Республики Беларусь от 11.06.2010 г. № 903)», выполненной на кафедре «Управление автомобильными перевозками и дорожным движением» Белорусского государственного университета транспорта на основании договора с Министерством транспорта и коммуникаций Республики Беларусь. Разработаны отдельные предложения по совершенствованию нормативного правового регулирования системы тахографического контроля.

Введение. Многолетняя мировая практика контроля и надзора в сфере автомобильного транспорта объективно свидетельствует о том, что эффективным способом контроля соблюдения режимов рабочего времени и времени отдыха водителей при управлении транспортным средством (ТС) является тахографический контроль.

Развитие системы тахографического контроля на автомобильном транспорте проходит как в Республике Беларусь (РБ), так и за рубежом, поскольку по-прежнему одной из причин дорожно-транспортной аварийности является несоблюдение водителями ТС режимов труда и отдыха и существует ряд неурегулированных проблем в данной сфере.

В настоящей статье рассмотрены отдельные результаты научно-исследовательской работы (НИР) по теме «Совершенствование системы управления безопасностью транспортной деятельности и общественной безопасности», раздел «Разработка предложений по применению тахографов в РБ и совершенствованию НПА в данной сфере (постановления Минтранса РБ от 21.02.2008 г. № 8 и от 16.10.2010 г. № 46, постановление Совета Министров РБ от 11.06.2010 г. № 903)», выполненной на кафедре «Управление автомобильными перевозками и дорожным движением» Белорусского государственного университета транспорта на основании договора от 16.06.2021 г. № 1-НИОКР/147666 с Министерством транспорта и коммуникаций РБ [1].

Постановка задачи. Объектом исследования является система тахографического контроля режима труда и отдыха водителей автотранспортных средств.

Применение контрольных устройств (тахографов) осуществляется как на основе Европейского Соглашения, касающегося работы экипажей ТС, производящих международные автомобильные перевозки (ЕСТР), подписанном в Женеве 1 июля 1970 года, с принятыми дополнениями и изменениями [2], так и на основе иных законодательных актов.

Соглашение ЕСТР призвано повысить безопасность дорожного движения (БДД) посредством регламентации условий труда водителей ТС и устанавливает требования, предъявляемые к водителям ТС, выполняющих международные автомобильные перевозки, усло-

виям их труда и отдыха, а также требования к контролю за соблюдением указанных условий.

В рамках проведенных исследований дана оценка состояния современной системы тахографического контроля, проанализирован национальный и зарубежный опыт. Рассмотрены национальные и зарубежные правовые документы и нормы в сфере формирования, внедрения и развития системы тахографического контроля. Накопленный опыт показал необходимость совершенствования нормативных правовых актов (НПА) РБ в сфере применения тахографов, а также актуальность улучшения отдельных процедур в целях обеспечения результативности и эффективности системы тахографического контроля.

Основная часть. К настоящему времени в РБ создана основа нормативного правового регулирования применения контрольных устройств на ТС, соответствующих требованиям ЕСТР, и функционирует достаточно устоявшаяся система контроля и оказания услуг в данной сфере.

В Республике Беларусь тахограф применяют в международных перевозках, а также при выполнении перевозок по территории страны ТС международных автомобильных перевозок. Постановлением Совета Министров РБ от 30 ноября 1992 года № 721 РБ присоединилась к Европейскому Соглашению, касающемуся работы экипажей ТС, производящих международные автомобильные перевозки (ЕСТР), заключенному в г. Женеве 1 июля 1970 года.

В соответствии с требованием статьи 10 ЕСТР на ТС, зарегистрированных на территории договаривающихся сторон, должны устанавливаться и использоваться контрольные устройства согласно требованиям Соглашения ЕСТР, включая приложение и добавления к нему.

Отношения в области автомобильного транспорта и автомобильных перевозок регулируются Гражданским кодексом РБ, Законом РБ от 5 мая 1998 г. «Об основах транспортной деятельности», законом РБ от 14.08.2007 г. № 278-З «Об автомобильном транспорте и автомобильных перевозках», иными актами законодательства, международными договорами РБ, а также международно-правовыми актами, составляющими право Евразийского экономического союза.

В соответствии со ст. 18 Закона РБ от 14.08.2007 г. № 278-З «Об автомобильном транспорте и автомобиль-

ных перевозках» при выполнении ТС международных автомобильных перевозок по территории РБ должны применяться тахографы, если иное не предусмотрено международными договорами РБ.

Общий порядок использования тахографов, установленных на ТС, при выполнении автомобильными перевозчиками автомобильных перевозок регулируется Инструкцией о порядке использования тахографов на ТС, утвержденной постановлением Министерства транспорта и коммуникаций РБ от 21.02.2008 г. № 8.

В целях обеспечения выполнения на территории РБ Европейского соглашения, касающегося работы экипажей ТС, которые производят международные автомобильные перевозки, национальные законодательные акты приведены в соответствие с нормами Европейского соглашения (ЕСТР).

Указом Президента РБ от 26 апреля 2010 г. № 200 «Об административных процедурах, осуществляемых государственными органами и иными организациями по заявлениям граждан», утверждена процедура выдачи карточки водителя для физических лиц. Перечень документов, представляемых физическим лицом, кроме ИП, для выдачи карточки водителя, срок выдачи и срок ее действия определены в пункте 15.18 перечня административных процедур, осуществляемых государственными органами и иными организациями по заявлениям граждан, (утв. Указом Президента РБ от 26 апреля 2010 г. № 200).

В целях реализации Европейского соглашения (ЕСТР) постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 11 июня 2010 года № 903 «О некоторых вопросах функционирования системы цифровых тахографов» утверждены: процедуры выдачи остальных трех типов карточек по обращениям организаций; положение о порядке выдачи разрешений на оказание услуг (выполнение работ) сервисным мастерским на проведение работ с цифровым тахографом (по установке, активированию и ремонту цифровых тахографов, прекращения их действия); положение о порядке выдачи карточек цифрового тахографа, прекращения их действия.

Требования к изготовлению, оформлению карточек цифрового тахографа, порядку их использования, учету и хранению информации, хранящейся в карточке водителя и цифровом тахографе, устанавливаются Министерством транспорта и коммуникаций РБ.

В соответствии с постановлением СМ РБ от 11.06.2010 г. № 903 «О некоторых вопросах функционирования системы цифровых тахографов» цифровые тахографы могут устанавливать мастерские (ЮЛ и ИП), имеющие разрешение Минтранса на оказание услуг по установке, активированию и ремонту цифровых тахографов.

Согласно подп. 5.19 п. 5 постановления СМ РБ от 17.02.2012 г. № 156 «Об утверждении единого перечня административных процедур, осуществляемых государственными органами и иными организациями в отношении ЮЛ и ИП», приведен полный перечень документов, представляемых в Министерство транспорта и коммуникаций РБ для получения заинтересованным лицом разрешения на оказание услуг по установке, активированию и ремонту цифровых тахографов.

Постановление Министерства транспорта и коммуникаций РБ от 16.06.2010 г. № 46 «О некоторых мерах

по реализации постановления Совета Министров Республики Беларусь от 11 июня 2010 г. № 903» утверждены все необходимые формы документов, обеспечивающие процесс оформления карточек, определены требования к сервисным мастерским, процессу хранения, учета и анализа информации, содержащейся в цифровом тахографе.

Рассмотрение вопросов, связанных с выдачей карточек, а также прекращением их действия, использованием и учетом выданных карточек, осуществляется Транспортной инспекцией Министерства транспорта и коммуникаций РБ. Кроме того, Транспортная инспекция РБ наделена правом проверки ТС, осуществляющих международные автомобильные перевозки, независимо от места регистрации ТС, на основании ст. 12 ЕСТР, подп. 9.1 п. 9 и п. 13 ПДД РБ и производит контроль состояния объектов транспортной деятельности в порядке, установленном законодательством о контрольной (надзорной) деятельности. Эксплуатация ТС, оборудованного тахографом, не соответствующим требованиям НПА РБ, влечет ответственность в соответствии с законодательством РБ.

Следует отметить, что в соответствии с п. 2 действующей Инструкции о порядке использования карточек цифрового тахографа, учета и хранения информации, хранящейся в карточке цифрового тахографа (карточке водителя) и цифровом тахографе, утвержденной постановлением Министерства транспорта и коммуникаций РБ от 16.06.2010 года № 46, держатель карточки обязан, в частности, подать заявление на выдачу карточки не позднее 15 календарных дней после изменения данных, представленных в Транспортную инспекцию Министерства транспорта и коммуникаций при получении действующей карточки.

Данная норма в Инструкции о порядке использования карточек цифрового тахографа, учета и хранения информации, хранящейся в карточке цифрового тахографа (карточке водителя) и цифровом тахографе подлежит исключению, поскольку выдача карточки цифрового тахографа является отдельной административной процедурой, которая законодательно регулируется в соответствии с Законом РБ «Об административных процедурах» от 28.10.2008 года № 433-3.

В соответствии со ст. 3 Закона РБ «Об административных процедурах» от 28.10.2008 года № 433-3 действующими законодательными актами, постановлениями СМ РБ определены: наименования административных процедур; уполномоченные органы; исчерпывающие перечни документов и (или) сведений, представляемых заинтересованными лицами; сроки осуществления административных процедур; сроки действия справок или других документов, выдаваемых при осуществлении административных процедур; размер платы, взимаемой при осуществлении административных процедур, или порядок ее определения. Дополнительное регулирование рассматриваемых вопросов на основании ст. 3 Закона РБ «Об административных процедурах» от 28.10.2008 года № 433-3 не допускается. Не допускается также делегирование Советом Министров РБ другим государственным органам, иным государственным организациям полномочий на принятие (издание) НПА, регулирующих рассматриваемые выше вопросы.

Постановлением СМ РБ от 24 сентября 2021 г. № 548 «Об административных процедурах, осуществляемых в отношении субъектов хозяйствования» во исполнение части первой п. 2 и абзацев второго и третьего подп. 12.1 п. 12 Указа Президента РБ от 25 июня 2021 г. № 240 «Об административных процедурах, осуществляемых в отношении субъектов хозяйствования», утвержден новый единый перечень административных процедур, осуществляемых в отношении субъектов хозяйствования, и установлена форма регламента административной процедуры, осуществляемой в отношении субъектов хозяйствования. Данное постановление вступает в силу с 27.03.2022 года и определяет уполномоченные органы, к компетенции которых относится выполнение административной процедуры, и орган-регулятор. Установлены и срок осуществления административной процедуры, и вид взимаемой при этом платы.

Так, в соответствии с п. 5.30 постановления СМ РБ от 24.09.2021 года № 548 органом-регулятором на согласование услуг, связанных с цифровыми тахографами, определено Министерства транспорта и коммуникаций РБ. При этом уполномоченным органом на выполнение административной процедуры «получение разрешения на оказание услуг (выполнение работ) сервисной мастерской по установке, активированию и ремонту цифровых тахографов» определена Транспортная инспекция Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь (п. 5.30.1. Единого перечня административных процедур, осуществляемых в отношении субъектов хозяйствования).

Республика Беларусь в соответствии с Договором о Евразийском экономическом союзе является государством – участником Евразийского экономического союза (ЕАЭС). Данным Договором о ЕАЭС от 29 мая 2014 г. предусмотрено проведение скоординированной (согласованной) транспортной политики, направленной на обеспечение экономической интеграции, последовательное и поэтапное формирование единого транспортного пространства на принципах конкуренции, открытости, безопасности, надежности, доступности и экологичности.

В ЕАЭС придается большое значение интеграции в транспортной сфере, которая осуществляется путем поэтапной либерализации транспортных услуг между государствами-членами, и конечной целью интеграции декларируется создание *единого транспортного пространства* Евразийского экономического союза.

Под *единым транспортным пространством* понимается совокупность транспортных систем государств-членов, в рамках которой обеспечиваются беспрепятственное передвижение пассажиров, перемещение грузов и транспортных средств, их техническая и технологическая совместимость, основанные на гармонизированном законодательстве государств-членов в сфере транспорта.

Между тем следует отметить, что в рамках договора о создании Союзного государства Беларуси и России от 8 декабря 1999 года аналогично предусмотрено построение единого транспортного пространства, позволяющего обеспечить скоординированное развитие транспортных комплексов и повысить эффективность перемещения пассажиров и грузов. Построение единого транспортного пространства РБ и РФ системно осу-

ществляется на основе реализации планов мероприятий по формированию и функционированию объединенной транспортной системы Союзного государства. Осуществляется работа по гармонизации и совершенствованию законодательных и НПА в области транспорта и развития системы евроазиатских транспортных связей и международных транспортных коридоров, проходящих по территории Союзного государства.

В настоящее время на просторах ЕАЭС обязательные единые требования к тахографу определены Техническим регламентом Таможенного союза 018/2011 «О безопасности колесных транспортных средств» (пункт 65 приложения № 10 «Перечень к типам компонентов ТС» к Техническому регламенту) и одновременно применяются требования к тахографам, установленные в ЕСТР. При этом требования к тахографам, установленные Техническим регламентом Таможенного союза 018/2011 «О безопасности колесных ТС», не содержат всех требований ЕСТР.

Технический регламент Таможенного союза 018/2011 «О безопасности колесных ТС» закрепляет требование к производителям ТС обеспечить подготовку для установки тахографа и утверждает, что требования к тахографам устанавливаются на уровне национального законодательства.

Так, в особенности подтверждено, что конструкция выпускаемых в обращение ТС категорий М2 и М3, осуществляющих коммерческие перевозки пассажиров, категорий N2 и N3, коммерческие перевозки грузов, должна предусматривать возможность оснащения (штатные места установки, крепления, энергоснабжения) техническими средствами контроля за соблюдением водителями режимов движения, труда и отдыха (тахографами).

Оснащение указанной аппаратурой ТС осуществляется в порядке, установленном НПА государств – членов Союза. Требования настоящего пункта не применяются в отношении ТС, указанных в статье 2 Европейского соглашения, касающегося работы экипажей ТС, производящих международные автомобильные перевозки (ЕСТР).

В РБ требования к тахографам, определенные в ЕСТР в отношении международных перевозок, распространяются на внутренние перевозки, что установлено Инструкцией о порядке использования тахографов на ТС, утвержденной постановлением Министерства транспорта и коммуникаций РБ от 21.02.2008 г. № 8. В соответствии с п. 3 данной Инструкции тахографы, установленные на ТС, зарегистрированных в РБ, должны соответствовать требованиям международного соглашения ЕСТР, тип которых утверждается в соответствии с законодательством РБ. При этом тахографы, применяемые на ТС, не зарегистрированных в РБ, но используемых для перевозки по территории РБ, должны соответствовать требованиям ЕСТР.

В соответствии с п. 2 статьи 53 Договора об Евразийском экономическом союзе государства-члены обеспечивают обращение продукции, соответствующей требованиям технического регламента Союза (технических регламентов Союза), на своей территории без предъявления дополнительных по отношению к содержащимся в техническом регламенте Союза (технических регламентах Союза) требований к такой продукции.

Таким образом, требования к тахографам, предусмотренные национальным законодательством РБ, являются дополнительными для ТС, зарегистрированных в государствах – членах ЕАЭС при осуществлении внутренних перевозок, и нуждаются в пересмотре и корректировке для приведения в соответствие с п. 2 статьи 53 Договора об Евразийском экономическом союзе.

Республике Беларусь как государству – члену ЕАЭС с учетом принятых обязательств, следует ориентироваться на п. 2 статьи 53 Договора об Евразийском экономическом союзе и на Инструкцию о порядке использования тахографов на ТС, утвержденную постановлением Министерства транспорта и коммуникаций РБ от 21.02.2008 г. № 8. Необходимо внести положение о том, что на тахографы, применяемые на ТС, зарегистрированных в государствах – членах ЕАЭС и используемых для перевозки по территории РБ, распространяются требования Технического регламента Таможенного союза 018/2011 «О безопасности колесных ТС», а не требования ЕСТР. Более того, в перспективе в рамках формирования и развития системы тахографического контроля в НПА РБ целесообразно ограничить перечень ТС в части установки тахографического оборудования, а именно в планируемых к изданию НПА, регулирующих применение тахографов на внутренних перевозках, востребована разработка положений о том, что не подлежит обязательному оснащению тахографами конкретный перечень категорий ТС, как это реализовано, к примеру, в РФ.

В РФ на федеральном уровне обязательные требования к тахографу определены Техническим регламентом Таможенного союза 018/2011 «О безопасности колесных транспортных средств» (п. 65 приложения 10 к ТР ТС 018/2011).

Применяемые технические средства контроля, правила соблюдения требований и нормы времени режимов труда и отдыха водителей ТС при осуществлении международных перевозок регулируются положениями, изложенными в ЕСТР, а при осуществлении внутренних российских перевозок регулируются положениями, изложенными в федеральном законе от 10.12.1995 № 196-ФЗ «О безопасности дорожного движения». При этом автомобильные перевозчики, допущенные к осуществлению международных перевозок, имеют право использовать контрольное устройство также и при выполнении внутренних перевозок.

Проведенный анализ российского законодательства показал, что национальные правила режима труда и отдыха водителей в России для целей осуществления международных перевозок адаптированы под правила международного соглашения ЕСТР и реализуются в соответствии с этим соглашением в рамках принятых РФ обязательств. Однако следует отметить, что требования для внутренних перевозок по РФ имеют существенные отличия от требований ЕСТР, а именно: тахографы и карты ЕСТР и РФ не взаимозаменяемые и несовместимы; нормы времени управления и перерывов в управлении (отдых от управления) различны; конструкция и требования к конструкции тахографов различаются; формы отчетных документов различаются; проверка на соответствие требованиям различаются; мастерские имеют различные процедуры допуска и регламенты работы.

Действующий порядок выдачи карточек (карт), используемых в цифровых контрольных устройствах, устанавливаемых на ТС и правила ведения реестра выданных карточек (карт) утверждены одним Приказом Министерства транспорта РФ от 23.10.2020 № 435 «Об утверждении Порядка выдачи карточек (карт), используемых в цифровых контрольных устройствах, устанавливаемых на транспортных средствах, и Порядка ведения реестра выданных карточек (карт), используемых в цифровых контрольных устройствах, устанавливаемых на транспортных средствах» (Зарегистрирован 11.12.2020 г. № 61399; Вступил в силу с 01.01.2021 г.). В случае замены водительского удостоверения менять карту тахографа не требуется. Пункт 22 Приказа Министерства транспорта РФ от 23.10.2020 № 435 предусматривает, что в случае замены водительского удостоверения в течение срока действия карты водителя замена карты водителя не производится, что позволяет держателям карт упростить условия их использования и не влечет за собой дополнительных затрат, связанных с заменой карт. Создание аналогичных условий представляется целесообразным и в РБ.

С 1 января 2021 года согласно Приказу Министерства транспорта Российской Федерации от 21 августа 2020 г. № 320 «Об утверждении Требований к сервисным центрам (мастерским), осуществляющим деятельность по установке, проверке, техническому обслуживанию и ремонту контрольных устройств, устанавливаемых на транспортных средствах, Порядка допуска сервисных центров (мастерских) к деятельности по установке, проверке, техническому обслуживанию и ремонту контрольных устройств, устанавливаемых на транспортных средствах, и Порядка ведения реестра допущенных сервисных центров (мастерских), осуществляющих деятельность по установке, проверке, техническому обслуживанию и ремонту контрольных устройств, устанавливаемых на транспортных средствах» вступили в силу новые требования к сервисным центрам (мастерским), осуществляющим деятельность по установке, проверке, техническому обслуживанию и ремонту контрольных устройств, устанавливаемых на ТС.

В Приложении 1 к приказу Минтранса России № 320 от 21 августа 2020 года изложены обновленные Требования к сервисным центрам (мастерским), осуществляющим деятельность по установке, проверке, техническому обслуживанию и ремонту контрольных устройств, устанавливаемых на транспортных средствах, а именно пунктом 5 предусмотрено, что мастерская обязана вести документальный учет в виде журнала, включающего записи:

- о выполненных работах мастерской в соответствии с регламентом мастерской;
- использованных при выполнении работ мастерской оборудования и средств измерения;
- использованных запасных частях и материалах, влияющих на качество и безопасность работ мастерской;
- использованной сотрудником мастерской карте мастерской с обязательной регистрацией вида работ, которые выполнялись с применением конкретной карты, с указанием даты и времени выполнения работ, действий сотрудника, с обязательной выгрузкой данных из памяти карты мастерской в архив;
- использованных средств пломбирования;

– обнаруженных при проведении работ случаях несанкционированного доступа к данным, хранящимся в контрольном устройстве, манипуляций, технических ошибок, несоблюдении правил эксплуатации и технического обслуживания контрольного устройства.

Журнал ведется на бумажном носителе. Журнал должен быть прошнурован, страницы журнала пронумерованы.

Допускается ведение журнала в электронной форме. При ведении журнала в электронной форме предусматривается обязательная распечатка страниц журнала. В случае ведения журнала в электронной форме внесенные в него сведения заверяются электронной подписью в соответствии с требованиями Федерального закона от 6 апреля 2011 г. 63-ФЗ «Об электронной подписи».

В НПА РФ актуально предусмотреть аналогичную норму, допускающую ведение журнала в электронной форме.

Проведенный анализ показал, что в РФ приняты существенные изменения НПА, освобождены от оснащения тахографами отдельные категории ТС (специальные ТС и др.), сокращены сроки использования аналоговых контрольных устройств. Повышение эффективности системы тахографического контроля достигается совершенствованием требований к режимам труда и отдыха водителей (унификация требований к режимам труда и отдыха водителей при осуществлении внутрироссийских и международных перевозок), интеграцией тахографа в единую систему измерений, повышением эффективности государственного контроля и совершенствованием законодательства.

В Евросоюзе (ЕС) тахографы используются для контроля и проверки режима труда и отдыха водителей автотранспортных средств и обеспечения соблюдения законодательства о социальных правилах (период отдыха, ограничения по времени вождения) с целью обеспечения БДД и стимулирования справедливой конкуренции между автоперевозчиками. На территории стран ЕС применение тахографа обязательно при осуществлении внутренних и международных перевозок.

Правовая и техническая база ЕС в сфере применения тахографов была пересмотрена в соответствии с принятым Пакетом Мобильности (опубликован 31 июля 2020 г. в официальном бюллетене Европейского союза (L 249)), а также в соответствии с Регламентом Совета (ЕС) № 165/2014, который ввел поддержку беспроводной связи, позиционирования с помощью глобальных спутниковых систем определения местоположения (GNSS) и новые меры безопасности для системы цифровых тахографов.

Пакет Мобильности предусматривает постепенный переход на новые тахографы (Smart Tachograph 2) в течение 2–5 лет, что касается всех ТС, выполняющих международные перевозки.

Система цифрового тахографа второго поколения (Smart Tachograph 2) была введена Регламентом (ЕС) № 165/2014 Европейского парламента и Совета и Регламентом (ЕС) № 2016/799 от 18 марта 2016 г. Приложение 1С Регламента Комиссии (ЕС) 2016/799 устанавливает технические требования к конструкции, испытаниям, установке, эксплуатации и ремонту умных (интеллектуальных) тахографов и их компонентов.

Смарт-тахограф второго поколения будет обязателен для всех новых автомобилей с 21 августа 2023 г. Замена аналоговых и цифровых тахографов для международных перевозок смарт-тахографами второго поколения должна быть выполнена не позднее 31 декабря 2024 г., модернизация ТС, работающих в разных странах и оснащенных первой версией смарт-тахографа – не позднее 20 августа 2025 г.

Государства – члены ЕС к 21 августа 2024 года должны оснастить свои контролирующие органы оборудованием дистанционного раннего обнаружения для проверок на обочине дороги.

С 1 июля 2026 года фургоны от 2,5 тонн для международных перевозок необходимо оснащать цифровыми тахографами (SMART 2).

Основными функциональными особенностями смарт-тахографов нового поколения являются использование глобальных навигационных спутниковых систем для автоматической записи данных о местоположении ТС, применение технологии выделенной связи ближнего действия (DSRC) (рисунок 1) [3].

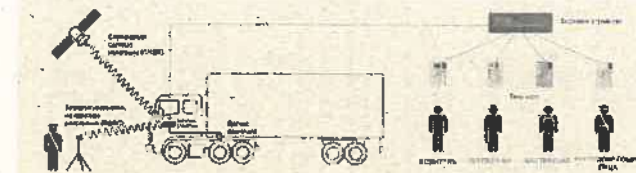


Рисунок 1 – Функциональные особенности смарт-тахографа второго поколения

Система уже тестируется в странах ЕС и требует значительных финансовых вложений, поскольку специализированным оборудованием, способным считывать данные с тахографа, должны быть оснащены все основные автомагистрали.

Компетентными органами ЕС инициируются предложения о распространении ряда положений Пакета Мобильности на перевозчиков стран, не входящих в ЕС, в рамках двусторонних соглашений о международных автомобильных перевозках, в рамках квоты Европейской конференции министров транспорта (ЕКМТ), а также об их включении в Европейское соглашение, которое касается работы экипажей ТС, производящих международные автомобильные перевозки (ЕСТР), в том числе требований об обязательном применении нового поколения смарт-тахографов договаривающимися сторонами ЕСТР. При этом новые требования влекут за собой изменение внутреннего законодательства стран ЕАЭС, включая РФ и РФ. Потребуется организация новой системы контроля на территории стран ЕАЭС, представителям контрольных надзорных органов и мастерских необходимо будет пройти обучение для работы со смарт-тахографами второго поколения и получить новые карты мастеров и контролеров. Также мастерским потребуется переоснащение, необходимо будет организовать учет установленных номерных пломб нового поколения.

Вместе с тем в РФ тестируют иную технологию, используя для передачи данных с тахографов уже развитую инфраструктуру сотовой связи. Разработан российский онлайн-тахограф, который оснащен модулем автоматической передачи информации о зафиксирован-

ных правонарушений по сетям беспроводной мобильной связи GSM/GPRS, что позволяет в режиме реального времени посредством инфраструктуры сетей операторов сотовой связи осуществлять передачу данных о нарушениях водителями режима управления ТС и отдыха, а также о несоблюдении ограничений скорости их движения в контрольно-надзорные органы и органы исполнительной власти. Стоимость создания информационной системы для онлайн-тахографии в РФ оценивается в разы ниже, чем затраты на оборудование магистральной системой DSRC в Европе. С учетом протяженности и количества автомобильных дорог в РФ, выбранная стратегия развития онлайн-тахографии в РФ представляется более экономически целесообразной.

На основе проведенных исследований, в частности, предложены следующие изменения и дополнения в НПА РБ, касающиеся применения тахографов.

1 Внести изменения в п. 3 Инструкции о порядке использования тахографов на транспортных средствах, утвержденную постановлением Министерства транспорта и коммуникаций РБ от 21.02.2008 г. № 8, и изложить в следующей новой редакции.

Тахографы, установленные на транспортных средствах, зарегистрированных в Республике Беларусь, должны соответствовать требованиям Европейского соглашения, касающегося работы экипажей транспортных средств, производящих международные автомобильные перевозки, от 1 июля 1970 года (далее – ЕСТР), тип которых должен быть утвержден в соответствии с законодательством Республики Беларусь.

Тахографы, применяемые на транспортных средствах, не зарегистрированных в Республике Беларусь, но используемых для перевозки по территории Республики Беларусь, должны соответствовать требованиям ЕСТР, за исключением тахографов, установленных на транспортных средствах, зарегистрированных в странах Евразийского экономического союза (далее – ЕАЭС): Республика Армения, Кыргызская Республика, Российская Федерация и Республика Казахстан.

Тахографы, установленные на транспортных средствах, зарегистрированных в странах ЕАЭС: Республика Армения, Кыргызская Республика, Российская Федерация и Республика Казахстан – и используемых для перевозки по территории Республики Беларусь, должны соответствовать требованиям Технических регламентов ЕАЭС.

Согласно статье 10 Закона РБ от 14 августа 2007 года № 278-3 «Об автомобильном транспорте и автомобильных перевозках» установление порядка использования тахографов на ТС относится к полномочиям Министерства транспорта и коммуникаций РБ в области автомобильного транспорта и автомобильных перевозок.

В соответствии с пунктом 4 статьи 33 Закона РБ от 17 июля 2018 года № 130-3 «О нормативных правовых актах» внесение изменений в нормативный правовой акт осуществляются принявшим (издавшим) его нормотворческим органом (должностным лицом) путем принятия (издания) нормативного правового акта того же вида, что и этот акт.

Принятие (издание) проекта не влечет за собой необходимости принятия дополнительных нормативных правовых актов.

2. Внести следующие изменения в постановление Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь от 16 июня 2010 г. № 46 «О некоторых мерах по реализации постановления Совета Министров Республики Беларусь от 11 июня 2010 г. № 903» и п. 2 Инструкции о порядке использования карточек цифрового тахографа, учета и хранения информации, хранящейся в карточке водителя и цифровом тахографе, изложить в следующей новой редакции.

Держатель карточки цифрового тахографа (далее – карточка) обязан:

- соблюдать требования к порядку использования карточек, установленные Европейским соглашением, касающимся работы экипажей транспортных средств, производящих международные автомобильные перевозки, заключенным в г. Женеве 1 июля 1970 года (далее – ЕСТР);*
- использовать карточку только по назначению;*
- пользоваться только своей карточкой и не передавать ее третьим лицам;*
- хранить PIN-код карточки сервисной мастерской от третьих лиц и в случае, если ее PIN-код стал известен третьим лицам, обратиться за выдачей новой карточки сервисной мастерской;*
- обеспечивать сохранность карточки, предохранять ее от воздействия высоких температур, сильного электромагнитного поля и физических повреждений;*
- прекратить использование карточки водителя, если изменились данные о водителе, представленные в Транспортную инспекцию при получении действующей карточки;*
- сдать ранее выданную карточку в Транспортную инспекцию при получении новой карточки (держатель карточки сервисной мастерской – нанимателю в день увольнения), за исключением случаев, если срок действия ее истек;*
- пользоваться карточкой мастерской только на территории сервисной мастерской, незамедлительно сообщать руководству сервисной мастерской о фактах повреждения, утраты (хищения) карточки сервисной мастерской, выданной на его имя;*
- в течение семи дней после установления факта повреждения, утраты (хищения) карточки письменно уведомить об этом Транспортную инспекцию с указанием места и времени повреждения, утраты (хищения) карточки (кроме карточки сервисной мастерской).*

В соответствии с п. 15 Положения о порядке выдачи карточек цифрового тахографа, утвержденного постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 11 июня 2010 г. № 903 требования к изготовлению, оформлению карточек цифрового тахографа, порядку их использования, учету и хранению информации, хранящейся в карточке водителя и цифровом тахографе, устанавливаются Министерством транспорта и коммуникаций РБ.

В соответствии с п. 4 статьи 33 Закона РБ от 17 июля 2018 года № 130-3 «О нормативных правовых актах» внесение изменений в нормативный правовой акт осуществляются принявшим (издавшим) его нормотворческим органом (должностным лицом) путем принятия (издания) нормативного правового акта того же вида, что и этот акт.

Принятие (издание) проекта не влечет за собой необходимости принятия дополнительных норматив-

ных правовых актов. Пункт 4 Инструкции о требованиях к сервисным мастерским, осуществляющим оказание услуг (выполнение работ) по установке, активированию и ремонту цифровых тахографов, изложить в следующей новой редакции.

Сервисной мастерской ведется учет оказываемых услуг (выполненных работ) по установке, активированию и ремонту цифрового тахографа в журнале учета работ с цифровым тахографом по форме согласно приложению 1 к настоящему Положению. Журнал должен быть пронумерован, прошнурован и скреплен печатью (штампом) сервисной мастерской.

Допускается ведение журнала в электронной форме. При ведении журнала в электронной форме предусматривается обязательная распечатка страниц журнала. В случае ведения журнала в электронной форме внесенные в него сведения заверяются электронной подписью в соответствии с требованиями Закона Республики Беларусь от 28 декабря 2009 г. № 113-З «Об электронном документе и электронной цифровой подписи».

Для РБ на перспективу представляется актуальной разработка НПА, регулирующего применение тахографов на внутриреспубликанских перевозках (в первую очередь междугородных автобусов и т. д.), а также в перспективе целесообразна унификация требований к режимам труда и отдыха водителей при осуществлении внутриреспубликанских и международных перевозок. Кроме того, с учетом тенденций интеграции и глобализации в мире, развитием систем тахографического контроля за рубежом, а также с принятием новых норм и требований на просторах ЕАЭС (в первую очередь в РФ) и ЕС всё более актуальными становятся вопросы совершенствования НПА РБ в сфере применения тахографов.

Принимаемые изменения в законодательство РБ, регламентирующие применение тахографов, должны соответствовать современным тенденциям движения РБ к международному взаимодействию а межгосударственном уровне, в том числе в рамках интеграционных про-

цессов, реализуемых в соответствии с международными договорами.

Заключение и выводы. Результаты исследований будут способствовать принятию управленческих решений, совершенствованию действующих НПА в сфере применения тахографов на автомобильном транспорте. Результаты проведенных исследований содержат новые предложения и обоснования к ним, определяющие перспективные направления по совершенствованию системы тахографического контроля режима труда и отдыха водителей автотранспортных средств. Область применения результатов – государственное управление в области автомобильного транспорта; управление безопасностью дорожного движения; совершенствование системы тахографического контроля режима труда и отдыха водителей автотранспортных средств.

Список литературы

1 Совершенствование системы управления безопасностью транспортной деятельности и общественной безопасности. Разработка предложений по применению тахографов в Республике Беларусь и совершенствованию нормативных правовых актов в данной сфере (постановления Минтранс от 21.02.2008 г. № 8 и от 16.10.2010 г. № 46, постановление Совета Министров от 11.06.2010 г. № 903) : отчет о НИР (Этап № 1) / БелГУТ; отв. исп. НИР С. А. Аземша, [С. Н. Карасевич, С. Н. Грищенко Т. В., Ясинская О. О.] – Гомель : БелГУТ, 2021. – ГР 20212805 (Заказчик – Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь; договор № 1-НИОКР/147666). от 16.06.2021 г.

2 Европейское соглашение, касающееся работы экипажей – транспортных средств, производящих международные автомобильные перевозки (ЕСТР), подписанное в Женеве 1 июля 1970 года с Добавлением В1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.transportir.by/mezhdunarodnoe-transportnoe-pravo/evropejskoe-soglashenie-orabote-ekipazhej-transportnykh-sredstv-proizvodyashchikh-mezhdunarodnye-avtoperevozki.html>. – Дата доступа : 25.08.2021.

3 Сайт объединенного исследовательского центра Европейской комиссии [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://dtc.jrc.ec.europa.eu>. – Дата доступа : 25.08.2021.

Получено 04.01.2022

S. N. Karasevich, S. A. Azemsha, T. V. Hryshchanka, V. O. Yasinskaya. The legal regulation of the tachographic control system in Belarus improving.

The article provides an assessment of the current state of the tachographic control system and the practice of normative legal regulation of the use of tachographs in the Republic of Belarus. Some results of research work are given on the topic: "Development of proposals for the use of tachographs in the Republic of Belarus and the improvement of regulatory legal acts in this area (Resolutions of the Ministry of Transport and Communications of the Republic of Belarus no 8 of February 21, no 46 of October 16, Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus no 903 of 11.06.2010)", performed by the Department of Automobile Transportation and Traffic Management of Belarusian State University of Transport on the basis of an agreement with the Ministry of Transport and Communications of the Republic of Belarus. Separate proposals have been developed to improve the legal regulation of the tachographic control system.

УДК 614.846.63:004.94

В. А. КОВТУН, доктор технических наук, С. Г. КОРОТКЕВИЧ, Университет гражданской защиты МЧС Беларуси, г. Минск; В. А. ЛОДНЯ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦИСТЕРН ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ С ПОВЫШЕННЫМИ ПРОЧНОСТНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Проведенный комплекс теоретических и экспериментальных исследований позволил оценить напряженно-деформированное состояние цистерн пожарных автомобилей в процессе эксплуатации. С использованием компьютерного моделирования разработаны новые 3D конечно-элементные модели цистерн прямоугольного сечения объемом 10 м^3 и исследовано влияние типа, размеров, расположения элементов, повышающих жесткость их конструкций, на уровень напряжений, возникающих в наиболее нагруженных узлах, к которым относятся угловые и тавровые соединения элементов. В работе представлены проектные расчеты и рекомендации по конструированию цистерн пожарных автомобилей, обладающих повышенными прочностными характеристиками.

Введение. Анализ аварийно-спасательной работы подразделений Министерства по чрезвычайным ситуациям свидетельствует о том, что фактор времени оказывает решающее влияние на процесс развития пожаров. Время прибытия спасателей во многом определяется наличием современной и надежной техники, поскольку от этого зависят человеческие жизни и причиняемый ущерб от пожаров.

Согласно статистике более 60 % всех пожаров в Республике Беларусь происходит в сельской местности, а также в природных экосистемах [1]. В результате пожарные автоцистерны вынуждены осуществлять движение при отсутствии ровного дорожного покрытия по проселочным дорогам и бездорожью. Кроме того, ежедневно движение пожарных автомобилей к месту возникновения чрезвычайных ситуаций происходит в режимах «ускорение», «торможение», «поворот» [2]. При таких условиях цистерны испытывают значительные повторно-переменные нагрузки, передаваемые на ее конструкцию через раму шасси и от давления жидкости. Проведенный анализ показал, что общее количество ремонтируемых цистерн пожарных автомобилей в год по причине нарушения герметичности конструкции составляет порядка 85–100 единиц, что значительно снижает боевую готовность подразделений МЧС, при этом материальные затраты превышают 200 тыс. бел. руб. Таким образом, целью работы является расчет и проектирование цистерн пожарных автомобилей, а также исследование влияния эксплуатационных нагрузок, геометрических параметров, расположения элементов цистерн, повышающих жесткость их конструкций, на возникающее напряженно-деформированное состояние и запас прочности.

Методика исследований. В качестве объекта исследований выбраны наиболее распространенные модели цистерн пожарных автомобилей объемом 10 м^3 на шасси МАЗ-6317. Для оценки напряженного состояния конструкций цистерн, возникающего при различных режимах и условиях движения пожарных автомобилей, предложена новая расчетная методика, основанная на двухэтапном подходе, включающем экспериментальное установление максимальных значений ускорения, возникающего под действием инерционных нагрузок в конструкциях цистерн, и разработку конечно-элемент-

ных моделей, адаптированных к режимам движения пожарных автомобилей [3].

При проведении исследований определены режимы и условия, характеризующие особенности движения пожарных автомобилей к месту ликвидации чрезвычайных ситуаций: режим № 1 – движение по прямому участку асфальтированной дороги со скоростью $50 \pm 2 \text{ км/ч}$; режим № 2 – движение по грунтовым дорогам категории VI-6 с допустимой скоростью 20–30 км/ч; режим № 3 – движение по прямому участку асфальтированной дороги со скоростью $50 \pm 2 \text{ км/ч}$ с последующим замедлением двигателем до скорости 10–15 км/ч для вхождения в левый поворот на 90° ; режим № 4 – ускорение с места по прямому участку асфальтированной дороги до скорости 30 км/ч и экстренное торможение до полной остановки пожарного автомобиля.

Порядок проведения экспериментальных исследований и компьютерного моделирования представлен в работах [3–6].

Проектируемые современные цистерны пожарных автомобилей схожи по форме, конструктивному исполнению и расположению элементов. В связи с этим, учитывая разработанные ранее научно-обоснованные решения по модернизации цистерн объемом 8 м^3 пожарных автомобилей на шасси МАЗ-6317 [5], а также цистерн объемом 5 м^3 пожарных автомобилей на шасси МАЗ-5337 [4], проведены проектные расчеты по модернизации цистерн объемом 10 м^3 пожарных автомобилей на шасси МАЗ-6317.

Создание 3D-модели цистерны объемом 10 м^3 пожарного автомобиля на шасси МАЗ-6317 в масштабе 1:1 проводилось в программном комплексе SolidWorks. Конструкция цистерны выполнена из нержавеющей стали марки AISI 430 2В и имеет прямоугольное сечение с геометрическими размерами $3000 \times 2500 \times 1340 \text{ мм}$ (рисунок 1, а). Стенки цистерны выполнены из листового металла толщиной 4 мм, а дно – 5 мм. Дно конструкции усилено расположенными поперечно профилями П-образного сечения (рисунок 1, б) и опирается через демпфирующие резиновые вставки на два донжерона и десять кронштейнов с сайлентблоками. Внутри цистерны расположены пенобак, поперечные и продольные волноломы. Разработка ее конечно-элементной модели проводилась в программном комплексе ANSYS (модуль

Static Structural), которая содержит 357 217 узлов и 335 123 элемента с размерами граней 0,015 м.

В настройках расчетной модели для каждого режима движения заданы максимальные значения ускорения, возникающего в конструкции цистерны под действием инерционных нагрузок, которые получены экспериментально с использованием измерительного оборудования: режим № 1 – 10,8 м/с²; режим № 2 – 25,2 м/с²; режим № 3 – 19,4 м/с²; режим № 4 – 22,9 м/с² [3, 6].

В результате расчета установлено, что наибольшим нагрузкам при движении подвержены угловые соединения стенок, стенок и дна, а также тавровые соединения волноломов и стенок, пенобака и передней стенки цистерны, при этом максимальные значения эквивалентных напряжений по Мизесу составляют 151–191 МПа.

Проектные расчеты. Для снижения напряжений, возникающих в областях угловых соединений стенок цистерны, предложено оптимизировать геометрические параметры элементов, повышающих жесткость конструкции, в частности горизонтальных ребер жесткости на ее боковых стенках, выполненных штамповкой. При проведении расчетов рассматривалось снижение длины данных ребер жесткости на отступ, равный L от каждой стороны угловых соединений стенок конструкции

(см. рисунок 1, а). В результате исследований установлено, что при выполнении горизонтальных ребер жесткости на боковых стенках цистерны без контакта с угловыми соединениями передней, задней и боковыми стенками конструкции на отступ, равный $L = 150$ мм от каждой стороны угловых соединений, обеспечивается снижение уровня напряжений на 34–36 МПа, возникающих в областях угловых соединений стенок (рисунок 2).

Для снижения напряжений, возникающих в областях тавровых соединений поперечных волноломов и боковых стенок цистерны пожарных автомобилей, проведена оптимизация расположения верхнего ребра жесткости на ее боковых стенках по высоте H (см. рисунок 1, а). В результате исследований установлено, что снижение высоты верхнего ребра жесткости со стандартной $H = 1000$ мм до $H = 850$ мм в модернизированной цистерне обеспечивает снижение уровня напряжений на 26–29 МПа, возникающих в областях II тавровых соединений поперечных волноломов и боковых стенок. Дальнейшее снижение высоты расположения верхнего ребра жесткости способствует критическому росту напряжений в областях I тавровых соединений поперечных волноломов и боковых стенок (рисунок 3).

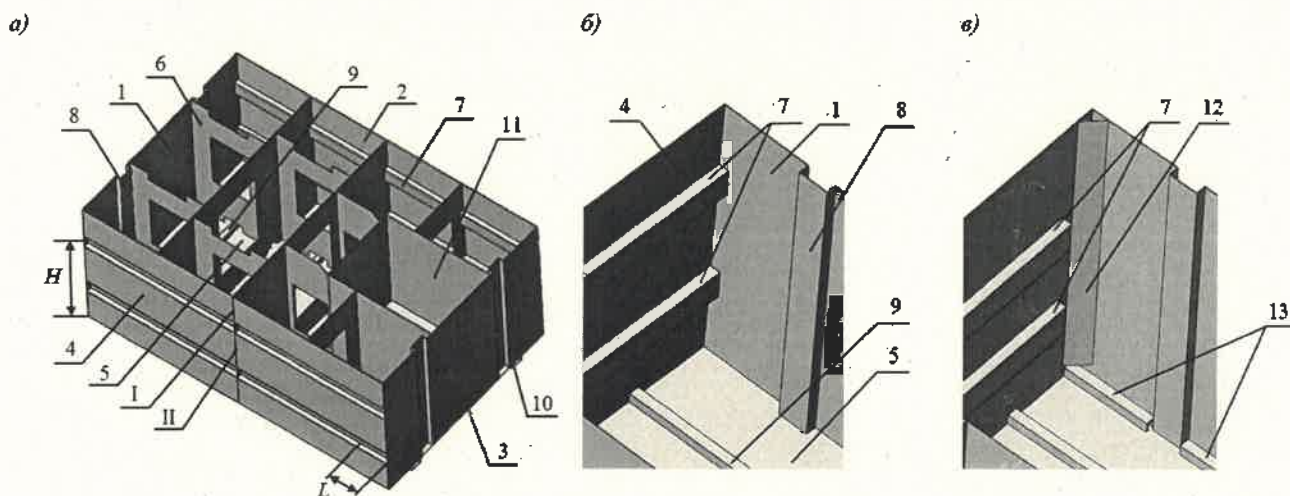


Рисунок 1 – 3D-модель серийной цистерны объемом 10 м³ пожарного автомобиля на шасси МАЗ-6317 (а) (вид без крыши); вид изнутри угловых соединений передней, боковой стенок и дна серийной (б) и модернизированной (в) конструкций;

1, 3 – передняя и задняя стенки; 2, 4 – боковые стенки; 5 – дно; 6 – волноломы (внутренние продольные и поперечные); 7, 8 – ребра жесткости; 9 – поперечные усиления в виде профилей П-образного сечения; 10 – продольные лонжероны; 11 – пенобак; 12 – косынка; 13 – дополнительные профили П-образного сечения;

I, II – области тавровых соединений волноломов и боковых стенок

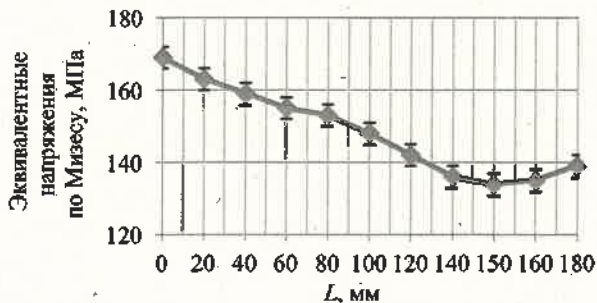


Рисунок 2 – Зависимость влияния геометрических параметров горизонтальных ребер жесткости на напряжения, возникающие в областях угловых соединениях передней, задней и боковых стенок цистерны

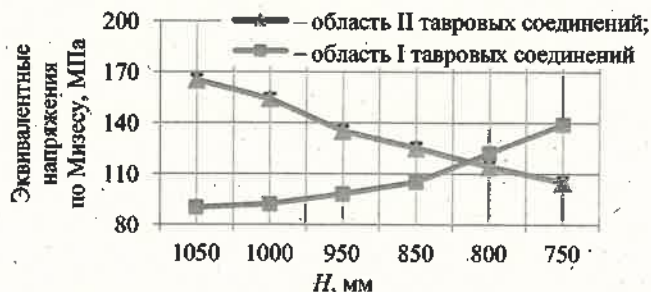


Рисунок 3 – Зависимости влияния высоты расположения верхнего ребра жесткости на боковых стенках на напряжения, возникающие в областях тавровых соединений поперечных волноломов и боковых стенок

Для снижения напряжений, возникающих в областях угловых соединений стенок цистерны пожарного автомобиля, предложена дополнительная установка косынок в виде полосы в вертикальной плоскости под углом 45° к находящимся в контакте стенкам. Необходимо отметить, что применение косынок возможно при выполнении горизонтальных ребер жесткости на боковых стенках цистерны без контакта с угловыми соединениями передней, задней и боковыми стенками конструкции. На рисунке 4 представлены результаты расчетов серийной и модернизированной конструкций.

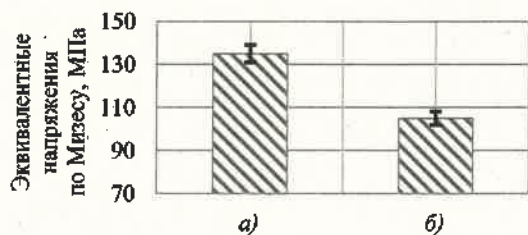


Рисунок 4 – Зависимость влияния типа конструкций цистерн пожарных автомобилей на напряжения, возникающие в областях угловых соединений стенок: а – серийной; б – модернизированной с установленными косынками

Исследования показали, что применение косынок в виде полосы с размерами $1280 \times 150 \times 4$ мм обеспечило снижение уровня напряжений на 29–31 МПа, возникающих в областях угловых соединений стенок цистерны.

Для снижения напряжений, возникающих в областях угловых соединений передней, задней стенок и дна, предложена дополнительная установка профилей равнополочных П-образного сечения с размерами $50 \times 50 \times 4$ мм. На рисунке 5 представлены результаты сравнительного расчета серийной и модернизированной цистерны.



Рисунок 5 – Зависимость влияния типа конструкций цистерн пожарных автомобилей на напряжения, возникающие в областях угловых и тавровых соединений: а – серийной; б – модернизированной с установленными профилями П-образного сечения

В результате исследований определено, что дополнительная установка шести профилей равнополочных П-образного сечения с размерами $50 \times 50 \times 4$ мм (двух штук длиной 1080 мм, четырех – 520 мм), которые закреплены на дне вдоль передней и задней стенок на

расстоянии 15–20 мм от угловых соединений передней, задней стенок и дна, обеспечивает снижение уровня напряжений в данных областях соединений на 43–45 МПа, угловых соединений стенок на 6–8 МПа, а также тавровых соединений пенобака и передней стенки на 8–10 МПа.

На основании полученных результатов исследований разработана 3D-модель модернизированной цистерны объемом 10 м^3 пожарного автомобиля на шасси МАЗ-6317, в которой комплексно реализованы предлагаемые изменения в конструкции: горизонтальные ребра жесткости на боковых стенках цистерны выполнены без контакта с угловыми соединениями передней, задней и боковыми стенками конструкции на отступ, равный $L = 150$ мм с каждой стороны угловых соединений; верхнее ребро жесткости на боковой стенке расположено на высоте 850 мм от дна; дополнительно установлены четыре косынки в виде полосы размерами $1280 \times 150 \times 4$ мм в вертикальной плоскости под углом 45° к находящимся в контакте стенкам и шесть профилей равнополочных П-образного сечения размерами $50 \times 50 \times 4$ мм (двух штук длиной 1080 мм, четырех – 520 мм), которые закреплены на дне вдоль передней и задней стенок на расстоянии 15–20 мм от угловых соединений передней, задней стенок и дна (см. рисунок 1, в). Ее конечно-элементная модель содержит 338273 узла и 359242 элемента. В результате расчета установлено снижение уровня напряжений, возникающих в наиболее нагруженных узлах модернизированной конструкции цистерны объемом 10 м^3 , в частности угловых соединений стенок на 36–40 %, угловых соединений передней, задней стенок и дна на 23–24 %, тавровых соединений волноломов и боковых стенок на 18–21 %, а также тавровых соединений пенобака и передней стенки на 5–7 %. При этом максимальные значения эквивалентных напряжений по Мизесу составляют 128–146 МПа.

Практика показывает, что в процессе эксплуатации цистерн пожарных автомобилей под действием эксплуатационных нагрузок весьма часто происходят нарушения герметичности конструкции в областях угловых сварных соединений стенок. На основании полученных результатов компьютерного моделирования проведен сравнительный расчет на прочность исследуемых конструкций цистерн пожарных автомобилей. Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Коэффициент запаса прочности по пределу выносливости n_s для угловых сварных соединений цистерн пожарных автомобилей определялся по формуле [7–8]

$$n_s = \frac{\tau_{-1} - \psi_\sigma \tau_m}{\tau_\sigma K_\sigma}, \quad (1)$$

где τ_{-1} – предел выносливости, МПа; ψ_σ – коэффициент, учитывающий влияние асимметрии цикла на предел выносливости; τ_m – среднее напряжение цикла, МПа; τ_σ – амплитуда цикла, МПа; K_σ – коэффициент, учитывающий совместное влияние концентрации напряжений, качества обработки поверхности и размеров детали;

Таблица 1 – Расчетные значения коэффициентов запаса прочности серийных и модернизированных цистерн пожарных автомобилей на шасси МАЗ-5337 и МАЗ-6317

Узлы в конструкциях, подверженные наибольшему нагружению	Расчетные значения коэффициентов запаса прочности цистерн пожарных автомобилей (серийная/модернизированная)					
	объемом 5 м ³ на шасси МАЗ-5337		объемом 8 м ³ на шасси МАЗ-6317		объемом 10 м ³ на шасси МАЗ-6317	
	n_T	n_T	n_T	n_T	n_T	n_T
Угловые соединения стенок	3,4/4,6	1,2/1,9	3,6/4,8	1,4/2,1	3,5/4,6	1,3/2,0
Угловые соединения стенок и дна	2,4/3,2	1,1/1,4	2,9/3,5	1,2/1,6	2,5/3,3	1,1/1,5

Коэффициент запаса прочности по пределу текучести n_T определялся по формуле [9].

$$n_T = \frac{\sigma_T}{\sigma_{\text{экв}}}, \quad (2)$$

где σ_T – предел текучести, МПа; $\sigma_{\text{экв}}$ – эквивалентные напряжения по Мизесу, МПа.

Результаты расчетов позволили установить повышение коэффициента запаса прочности в 1,2–1,6 раза в модернизированных конструкциях по сравнению с серийными.

Заключение. Проведенный комплекс теоретических и экспериментальных исследований позволил установить закономерности, связывающие уровень напряжений, возникающих в наиболее нагруженных узлах, с режимами, условиями движения пожарных автомобилей на шасси МАЗ-5337 и МАЗ-6317, типом, размерами и расположением элементов, повышающих прочностные характеристики цистерн. Показано, что научно-обоснованное применение данных элементов: косынок в виде полосы в вертикальной плоскости под углом 45° к находящимся в контакте стенкам; ребер жесткости в виде уголка равнополочного, расположенных на боковых стенках под углом 45°; профилей равнополочных П-образного сечения, закрепленных на дне на расстоянии 15–20 мм от угловых соединений передней, задней стенок и дна, горизонтальных ребер жесткости на боковых стенках, обеспечивает разработку модернизированных конструкций с повышенными прочностными характеристиками.

Разработанные по критериям нагруженности и прочности рекомендации по конструированию модернизированных цистерн пожарных автомобилей на шасси МАЗ-5337 и МАЗ-6317 защищены патентами [10–11], а также внедрены на производственном предприятии пожарной техники ООО «ПОЖСНАБ».

Список литературы

1 Сведения о чрезвычайных ситуациях // МЧС Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа :

Получено 14.04.2022

V. A. Kovtun, S. G. Korotkevich, V. A. Lodnya. Calculation and design of fire truck's rectangular tanks with increased strength characteristics.

The complex of theoretical and experimental studies made it possible to assess the stress-strain state of fire truck tanks during operation. Using computer modeling, new 3D finite element models of rectangular tanks with a volume of 10 m³ have been developed and the influence of the type, size, location of elements that increase the rigidity of their structures on the level of stresses arising in the most loaded nodes, which include corner and T-joints of elements, has been studied. The paper presents design calculations and recommendations for the design of tanks of fire trucks with increased strength characteristics.

<https://mchs.gov.by/ministerstvo/statistika/svedeniya-o-chs>. – Дата доступа : 16.09.2019.

2 Высоцкий, М. С. Динамика автомобильных и железнодорожных цистерн / М. С. Высоцкий, Ю. М. Плещачевский, А. О. Шимановский. – Минск : Белавтотракторостроение, 2006. – 320 с.

3 Ковтун, В. А. Компьютерное моделирование и исследование напряженно-деформированного состояния конструкций цистерн пожарных автомобилей / В. А. Ковтун, С. Г. Короткевич, В. А. Жаранов // Вестник ун-та гражд. защиты МЧС Беларуси. – 2018. – Т. 2, № 1. – С. 81–90. – DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-1.81.

4 Ковтун, В. А. Исследование влияния геометрических параметров элементов конструкции цистерны на ее прочностные характеристики при модернизации пожарных автомобилей / В. А. Ковтун, С. Г. Короткевич // Вестник ун-та гражд. защиты МЧС Беларуси. – 2020. – Т. 4, № 3. – С. 316–327. – DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-3.316.

5 Kovtun, V. Optimization of Fire Truck's Tanks on the Chassis MAZ-6317 by the Method of Computer Simulation / V. Kovtun, S. Korotkevich, Y. Mirchev, V. Lodnya // International Journal «NDT Days». – 2019. – Vol. II, is. 4. – P. 495–500.

6 Короткевич, С. Г. Экспериментально-теоретическое исследование напряженно-деформированного состояния цистерн пожарных автомобилей в процессе их эксплуатации / С. Г. Короткевич, В. А. Ковтун // Механика. Исследования и инновации. – 2021. – Вып. 14. – С. 112–118.

7 Иосифевич, Г. Б. Детали машин : учеб. для студентов машиностроит. спец. вузов. – М. : Машиностроение, 1988. – 368 с.

8 Ковтун, В. А. Расчет на прочность угловых сварных соединений цистерн пожарных автомобилей при возникающих в процессе движения переменных напряжениях / В. А. Ковтун, С. Г. Короткевич, И. А. Баран // Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого. – 2021. – № 2. – С. 35–43.

9 Скойбеда, А. Т. Детали машин. Теория и расчет : учеб.-метод. пособие / А. Т. Скойбеда, В. А. Агейчик, И. Н. Кононович. – Минск : БГАТУ, 2014. – 372 с.

10 Пожарная цистерна : полз. модель ВУ 11787 / В. А. Ковтун, С. Г. Короткевич, В. Н. Пасовец. – Оpubл. 30.10.2018.

11 Цистерна пожарного автомобиля: полз. модель ВУ 12486 / В. А. Ковтун, С. Г. Короткевич. – Оpubл. 28.02.2021.

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ

УДК 629.463.32

А. В. ПУТЯТО, доктор технических наук, Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого

**КОМПЛЕКС ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ
УНИВЕРСАЛЬНОГО СЛИВНОГО ПРИБОРА ВАГОНА-ЦИСТЕРНЫ В УСЛОВИЯХ ДЕПО**

Обозначена проблема эксплуатационной надежности устройств для нижнего слива жидких грузов из вагонов-цистерн. Приведено описание ряда технических решений для модернизации установленного универсального сливного прибора с двумя степенями защиты. Предлагаемые разработки отличаются простотой реализации в рамках выполнения плановых видов ремонта в условиях вагонных депо.

Введение. В настоящее время большинство нефтебензиновых вагонов-цистерн оборудованы универсальным сливным прибором, имеющим две степени защиты [1]. Основной затвор этого прибора в виде круглого запорного клапана с седлом располагается внутри верхней части подлого цилиндрического корпуса, при этом упомянутый клапан с закрепленным на нём резиновым уплотнительным кольцом имеет возможность относительного перемещения вверх и вниз без поворота относительно седла при вращении штанги управления. Нижний дополнительный затвор такого сливного прибора включает в себя ступенчатую круглую наружную крышку с закрепленной на её внутренней поверхности уплотнительной прокладкой. Крышка прижимается на прокладке снаружи к нижней торцовой поверхности вертикальной цилиндрической части корпуса сливного прибора с помощью нажимного винта, соединённого подвижно с указанной крышкой. Опорой для нажимного винта служит откидная скоба с резьбовой втулкой в средней своей части, соединённая подвижно с цилиндрической частью корпуса сливного прибора при помощи валиков. Для предотвращения самопроизвольного открывания наружной крышки предусмотрена стопорная гайка с рукояткой, размещённая на нажимном винте.

Для указанной конструкции прибора не исключается возможность течи груза, крайне опасной в пожарном отношении при перевозке бензина, лигроина и других светлых нефтепродуктов, а также в отношении экологической безопасности. Такая проблема встречается не только на Белорусской железной дороге. Она характерна и для других стран. В частности, более 78 % инцидентов при транспортировке опасных грузов на ОАО «РЖД» связано с использованием цистерн, а на Дальневосточной железной дороге этот показатель составляет около 98 % [3]. Характерно, что анализом Парето, применённым для выявления наиболее существенных факторов, которые влияют на возникновение аварийных ситуаций при перевозке нефтепродуктов применительно к указанному региону, выявлена доля в 35 %, приходящаяся на течи через сливной прибор [2].

Кроме того, в соответствии со специальным условием 78, приведённым в Правилах перевозок опасных грузов по железным дорогам [5], вагоны-цистерны для перевозки опасных грузов должны иметь нижний сливной прибор с тремя степенями защиты (три затворами)

или верхний слив и налив. С учетом вышеприведенного требования разработан ряд новых конструкций сливных приборов, имеющих три степени защиты. Такие приборы в настоящее время выпускаются несколькими предприятиями на территории РФ и государств СНГ: АО Корпорация «Сплав», АО «ЭПФ Судотехнология», АО «Русхим-маш» и др. [4, 10].

Опыт эксплуатации и анализ конструктивных особенностей сливных приборов с тремя степенями защиты выявили ряд их недостатков: уменьшение проходного отверстия и, как следствие, увеличение времени разгрузки груза; течи в местах уплотнений вала, на котором крепится промежуточный (третий) затвор.

Усовершенствование конструкции универсального сливного прибора с двумя степенями защиты. При разработке усовершенствования сливного устройства вагонов-цистерн за прототип принималась конструкция универсального сливного прибора [1]. Задачей совершенствования конструкции является повышение надежности устройства для слива перевозимого груза путем устройства второго дополнительного уплотнения сливного отверстия в цилиндрической нижней части корпуса сливного прибора. Технический результат достигается за счёт того, что сливной прибор, который содержит корпус с основным затвором в виде запорного внутреннего клапана в верхней своей части и с независимым дополнительным нижним затвором в виде ступенчатой наружной крышки с уплотнительной прокладкой и прижимаемой к корпусу при помощи закрепленной на нём откидной скобы, снабжённой винтом со стопорной гайкой, имеет еще ступенчатый дополнительный поршень, который снабжен кольцевым уплотнением и скреплен неподвижно и соосно по торцу меньшей своей ступени на прокладке со ступенчатой круглой наружной крышкой. Указанный поршень установлен внутри нижней цилиндрической части корпуса, а упомянутое кольцевое уплотнение размещено на цилиндрической поверхности большей ступени ступенчатого поршня. Это условие необходимо для обеспечения возможности отвода крышки с прикрепленным к ней поршнем в сторону от цилиндрической части прибора на откидной скобе.

На рисунке 1 показаны совмещённые половины вида и разреза нижней части модернизированного сливного прибора. Сливной прибор содержит ступенчатую круглую наружную крышку 1 с уплотнительной резиновой прокладкой 2, болтами 3 и крепительным кольцом 4;

корпус 5; прижимной винт 6; болт 7; скобу откидную 8; валики 9; стопорную гайку 10; рукоятку 11; ступенчатый дополнительный поршень 12 с кольцевым уплотнением 13, уплотнительной прокладкой на торце меньшей ступени (на рисунке условно не показана) и крепежными болтами 14. Устройство работает следующим образом. В открытом состоянии прибора (после слива груза) закрепляют по месту в седле основной верхний запорный клапан, а затем вращением винта 6 заводят верхний край поршня 12 внутрь цилиндрической части корпуса 5. Дальнейшее аксиальное перемещение поршня 12 с крышкой 1 до упора ее в торец корпуса 5 через прокладку 2 (при вращении винта 6) обеспечивается сдвоенное уплотнение (по прокладке 2 и дополнительному кольцевому уплотнению 13) проходного отверстия в нижней части корпуса 5. Полученный сдвоенный нижний затвор в закрытом состоянии фиксируется с помощью контргайки 10. В эксплуатации в случае разрыва одной из ветвей откидной скобы 8 поршень 12 с уплотнением 13 остается внутри цилиндрической части корпуса 5, что сохраняет работоспособность нижнего затвора сливного прибора.

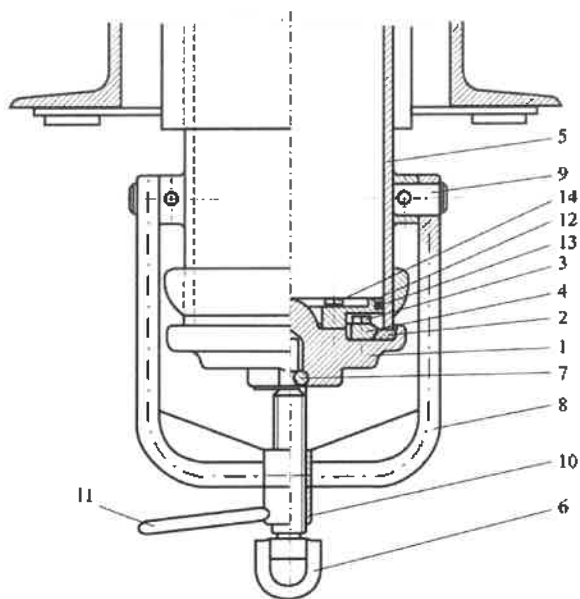


Рисунок 1 – Усовершенствованная конструкция универсального сливного прибора [6]

Конструкции устройств для нижней разгрузки котла с тройным запирающим проходного отверстия.

Дальнейшие разработки направлены на реализацию тройного запирающего сливного отверстия применяемых устройств для нижнего слива груза из цистерн.

Так, в разработке, приведенной на рисунке 2, технический результат достигается за счёт того, что сливной прибор, содержащий корпус с основным затвором в виде запорного внутреннего клапана в верхней части и с независимым дополнительным нижним затвором в виде ступенчатой наружной крышки, снабжённой уплотнительной прокладкой и прижимаемой к корпусу при помощи закреплённой на нём откидной скобы с винтом и стопорной гайкой, включает ещё один внутренний затвор. Второй внутренний промежуточный затвор в виде ступенчатой удлинённой втулки с уплотнением на большей своей ступени по окружности цилиндрической части сливно-

го отверстия корпуса прибора размещается внутри последнего между верхним и нижним затворами. Ступенчатая удлинённая втулка прижимается торцом своей меньшей ступени к крепежной стойке с внутренней резьбой на одном конце, которая закреплена вторым своим концом концентрично на нижнем торце верхнего основного клапана при помощи ступенчатого стяжного болта. На большей ступени удлинённой втулки, снабжённой внутренней резьбой, размещено кольцевое уплотнение, закреплённое на последней при помощи прижимного кольца и крепежной втулки с наружной резьбой. Указанные прижимное кольцо и крепежная втулка размещены концентрично относительно упомянутого выше ступенчатого стяжного болта. На торце большей ступени последнего, контактирующем с торцом меньшей ступени удлинённой втулки, имеется уплотнительная прокладка. Указанным образом создаётся третий затвор в цилиндрической части сливного прибора дополнительно к имеющимся основному верхнему затвору (в виде конусного внутреннего клапана с уплотнением в седле корпуса) и ступенчатой наружной крышке с уплотнительной прокладкой.

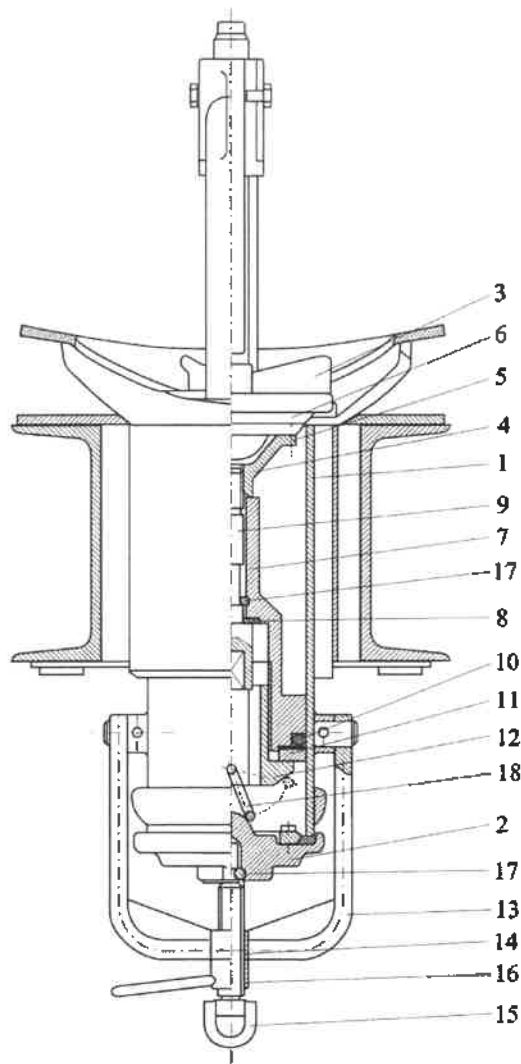


Рисунок 2 – Конструкция сливного прибора с тройной защитой [7]

Разработанная конструкция сливного прибора с тройным запирающим проходного отверстия содержит корпус 1; ступенчатую нижнюю наружную крышку 2,

снабжённую уплотнительной прокладкой (нижний наружный затвор); запорный клапан 3 (основной внутренний верхний затвор); стойку крепёжную 4 с внутренней резьбой, закреплённую тремя шпильками 5 прижимного кольца 6 уплотнения запорного клапана; втулку ступенчатую удлинённую 7 промежуточного внутреннего затвора, прижимаемую своей меньшей ступенью с прокладкой 8 к стойке 4 при помощи стяжного болта 9; уплотнение 10 с прижимным кольцом 11 и резьбовой втулкой 12 (т. е. в существующую конструкцию дополнительно устанавливается блок промежуточного внутреннего затвора из элементов 7–12 при помощи крепёжных деталей 4, 5, 9). Крышка 2 прижимается на прокладке к торцу цилиндрического корпуса 1 сливного прибора при помощи откидной скобы 13 с резьбовой втулкой 14 и болта прижимного 15 с контргайкой 16.

Сливной прибор работает следующим образом. Закрывают клапан 3 и при открытом положении крышки 2, сдвинутой в сторону от проходного отверстия сливного прибора на откидной скобе 13, заводят снизу внутрь цилиндрической части корпуса 1 в сборе элементы 7–12 (блок промежуточного затвора в свободном состоянии). Заворачивают болт 9 в резьбовую часть стойки 4 и зажимают уплотнительную прокладку 8. Затягивают по резьбе втулку 12, прижимая кольцом 11 уплотнение 10 по месту установки на большей ступени втулки 7. При такой установке промежуточного затвора при непредвиденном подъёме основного клапана 3 или разрыве скобы 13 в эксплуатации сохраняется двойной затвор сливного прибора. После закрепления уплотнения 10 по месту ставят на торец корпуса прибора наружную крышку 2, прижимают её винтом 15 на откидной скобе 13 с резьбовой втулкой 14 и фиксируют в прижатом положении с помощью контргайки 16. Для фиксации положения стяжного болта 9 во внутренней полости удлинённой ступенчатой втулки 7 используется шпилька 17. Скоба 18 предназначена для подвешивания на ней извлечённого из сливного прибора наружу блока промежуточного затвора в сборе (элементы 7–12, 17, 18) на хребтовой балке рамы вагона-цистерны (по аналогии с применяемой навеской болта 15, откидываемой в сторону на скобе 13 нижней крышки 2). Для слива груза перечисленные операции выполняют в обратном порядке. После отворачивания винта 15 отводят крышку 2 в сторону на скобе 13 и навешивают последнюю на крючок на раме вагона-цистерны, отворачивают частично втулку 12 и ослабляют при этом уплотнение 10, а затем выворачивают из стойки 4 болт 9. Освобождённый блок промежуточного затвора в собранном состоянии (7–12, 17, 18) вынимают полностью из корпуса сливного прибора и временно закрепляют на раме вагона. После этого открывают основной запорный клапан 3 и сливают груз.

Заслуживает внимания также разработка, приведённая на рисунке 3. Технический результат достигается за счёт того, что сливное устройство с основным затвором (запорным внутренним клапаном) в верхней части корпуса и с независимым нижним затвором в виде ступенчатой наружной крышки, снабжённой уплотнительной прокладкой и прижимаемой к корпусу при помощи закреплённой на нём откидной скобы с винтом, включает дополнительный промежуточный затвор. Промежуточный затвор размещается внутри корпуса прибора между верхним и нижним затворами и выполнен в виде корот-

кого поршня, снабжённого центральным стяжным болтом, прижимным диском и направляющими соосного перемещения последнего относительно поршня при вращении стяжного болта. В стенках юбки поршня диаметрально расположены направляющие (в виде прорезей) для его установки на штифтах, закреплённых радиально на внутренних стенках цилиндрического корпуса сливного прибора с помощью электросварки, при этом на наружной цилиндрической поверхности головки поршня имеются канавки щелевого уплотнения. Аналогичное уплотнение выполнено и на наружной цилиндрической поверхности прижимного диска, центральное отверстие которого снабжено кольцевым уплотнением по цилиндрической поверхности стяжного болта, а на внешнем (относительно поршня) торце диска закреплена предохранительная скоба, предназначенная для удержания упомянутого стяжного болта в центральном резьбовом отверстии головки поршня. Между головкой поршня и внутренней поверхностью нажимного диска установлено эластичное кольцо уплотнения по внутренней окружности корпуса сливного прибора. Таким образом, создаётся третий затвор в цилиндрической части сливного прибора дополнительно к имеющимся основному верхнему затвору (в виде конусного внутреннего клапана с уплотнением в седле корпуса) и ступенчатой наружной крышке с уплотнительной прокладкой.

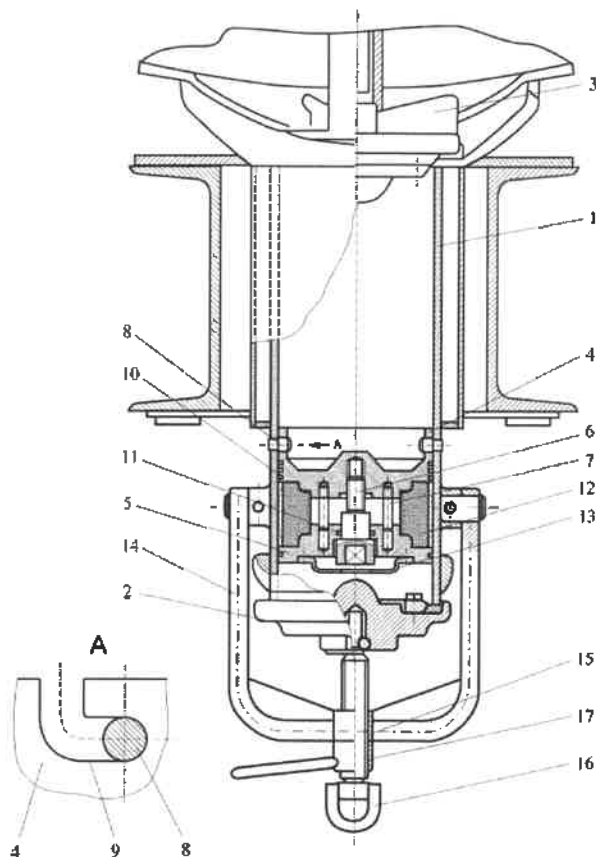


Рисунок 3 — Конструкция сливного прибора с тройной защитой [9]

Устройство содержит корпус 1; ступенчатую нижнюю наружную крышку 2, снабжённую уплотнительной прокладкой (нижний наружный затвор); запорный клапан 3 (основной внутренний верхний затвор); поршень 4; прижимной диск 5; стяжной специальный болт 6; направляющие 7 относительного перемещения диска;

штифты 8, расположенные между направляющими 9 стенок (в прорезях) юбки поршня; снабженного щелевым уплотнением 10; кольцевое уплотнение 11; эластичное кольцо 12; предохранительную скобу 13 (блок из элементов 4–13 в сборе – промежуточный затвор); откидную скобу 14; резьбовую втулку 15; прижимной болт 16 и контргайку 17.

Сливной прибор работает следующим образом. Закрывают клапан 3 и при открытом положении крышки 2, сдвинутой в сторону от проходного отверстия сливного прибора на откидной скобе 14, заводят снизу внутрь корпуса 1 в сборе элементы 4–13 (блок промежуточного затвора в свободном состоянии) таким образом, чтобы штифты 8 вошли в прорези юбки поршня между направляющими 9, и поворачивают за скобу 13 блок промежуточного затвора по часовой стрелке (согласно чертежу) до упора. Затем заворачивают болт 6 для обеспечения запирания проходного сечения корпуса 1 за счёт упругой деформации эластичного кольца 12. При такой установке промежуточного затвора при непредвиденном подъёме основного клапана 3 или разрыве скобы 14 в эксплуатации сохраняется двойной затвор сливного прибора. После закрепления уплотнения 12 по месту ставят на торец корпуса 1 крышку 2, прижимают её винтом 16 на откидной скобе 14 с резьбовой втулкой 15 и фиксируют в прижатом положении с помощью контргайки 17. Скоба 13 предназначена для подвешивания на ней извлечённого из сливного прибора наружу блока промежуточного затвора в сборе (элементы 4–13) на хребтовой балке рамы вагона-цистерны (по аналогии с применяемой навеской, откидываемой в сторону на скобе 14 нижней крышки 2). Блок промежуточного затвора связан при помощи гибкого элемента (на чертеже условно не показан) с крышкой 2. Для слива груза перечисленные операции выполняют в обратном порядке. После отворачивания винта 16 отводят крышку 2 в сторону на скобе 14, отворачивают частично болт 6 и ослабляют уплотнение 12, а затем при повороте против часовой стрелки и сдвиге вниз вынимают полностью из корпуса 1 блок промежуточного затвора и закрепляют совместно с крышкой 2 на раме вагона-цистерны. После этого открывают основной запорный клапан 3 и сливают груз.

Технический результат разработки, приведенной на рисунке 4, достигается за счёт того, что устройство для слива нефтепродуктов, содержащее корпус с основным затвором в виде запорного внутреннего клапана в верхней своей части и с независимым нижним затвором в виде ступенчатой круглой наружной крышки, снабжённой уплотнительной прокладкой и прижимаемой к корпусу при помощи закрепленной на нём откидной скобы, имеющей винт со стопорной гайкой, включает ещё один внутренний промежуточный затвор.

Внутренний промежуточный затвор размещается внутри цилиндрической части корпуса прибора между запорным внутренним клапаном и ступенчатой круглой наружной крышкой и выполнен в виде короткого поршня, состоящего из верхней ступенчатой втулки с тремя равноудаленными относительно друг друга и относительно оси вращения верхней ступенчатой втулки глухими, имеющими внутреннюю резьбу, отверстиями со стороны меньшей ступени и с одним глухим, имеющим внутреннюю резьбу, отверстием со стороны боль-

шей ступени, расположенным в геометрическом центре верхней ступенчатой втулки, и нижней ступенчатой втулки, изготовленной с тремя сквозными отверстиями, расположенными соосно с отверстиями верхней ступенчатой втулки, диаметром, обеспечивающим свободное перемещение последней относительно верхней ступенчатой втулки по направляющим болтам, закрепленным посредством резьбового соединения в глухих отверстиях верхней ступенчатой втулки, а также эластичного кольцевого уплотнения, расположенного на меньших ступенях ступенчатых втулок, причем верхняя ступенчатая втулка связана резьбовым соединением с цилиндрическим стержнем, который с помощью электросварки связан с внутренней поверхностью запорного внутреннего клапана. На внутренней стенке корпуса устройства для слива нефтепродуктов установлен ограничитель продольного перемещения нижней ступенчатой втулки внутреннего промежуточного затвора.

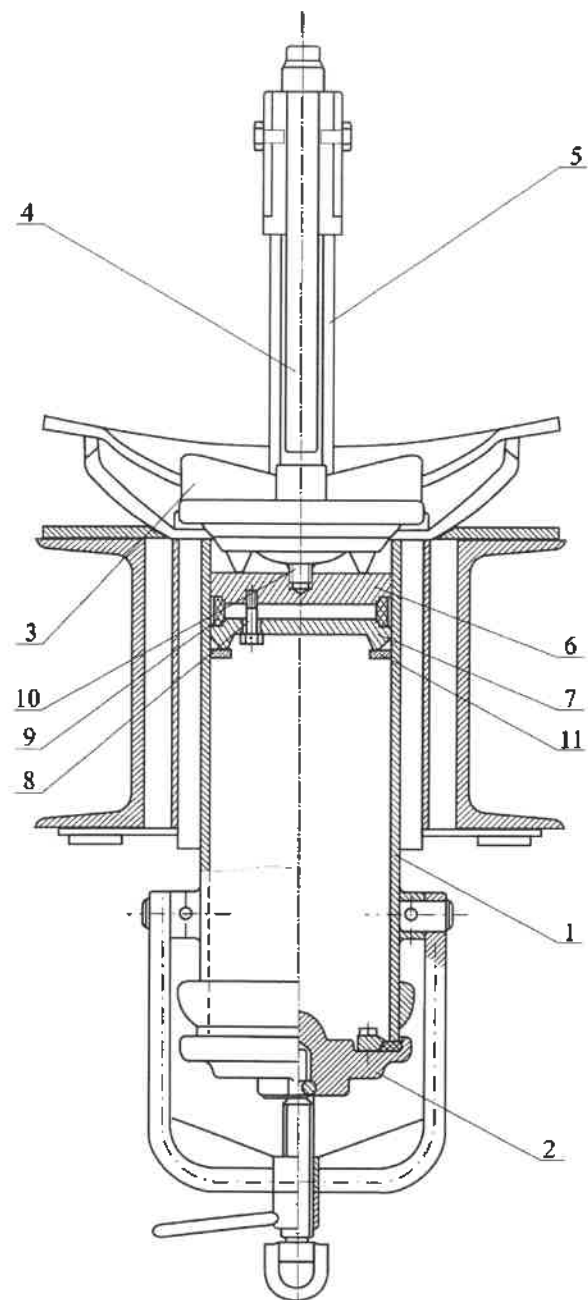


Рисунок 4 – Конструкция сливного прибора с тройной защитой [8]

Устройство содержит корпус 1; ступенчатую круглую наружную крышку 2, снабжённую уплотнительной прокладкой; запорный внутренний клапан 3; штангу 4; стойку клапана 5; внутренний промежуточный затвор, состоящий из верхней ступенчатой втулки 6 и нижней ступенчатой втулки 7, направляющих болтов 8, обеспечивающих соосное перемещение нижней ступенчатой втулки 7 относительно верхней ступенчатой втулки 6, а также эластичного кольцевого уплотнения 9, расположенного на меньших ступенях ступенчатых втулок. К внутренней поверхности запорного внутреннего клапана 3 по продольной оси симметрии с помощью электросварки закреплён цилиндрический стержень 10 с резьбой на консольной части. На внутренней стенке корпуса 1 устройства установлен ограничитель 11 продольного перемещения нижней ступенчатой втулки внутреннего промежуточного затвора.

Сливной прибор работает следующим образом. При вращении штанги 4 за счет резьбового соединения последней со стойкой клапана 5 закрывается основной затвор, в виде запорного внутреннего клапана 3. При закрытии запорного внутреннего клапана 3 за счет резьбового соединения верхней ступенчатой втулки 6 внутреннего промежуточного затвора с цилиндрическим стержнем 10 последняя опускается внутри корпуса 1 вместе с нижней ступенчатой втулкой 7, висящей на направляющих болтах 8, закрепленных посредством резьбового соединения в глухих отверстиях верхней ступенчатой втулки 6, а также эластичным кольцевым уплотнением 9. По мере закрытия запорного внутреннего клапана 3 нижняя ступенчатая втулка 7 внутреннего промежуточного затвора упирается в ограничитель 11, а верхняя ступенчатая втулка 6 продолжает движение вниз с направляющими болтами 8 внутри корпуса 1, тем самым обеспечивая упругую деформацию эластичного кольцевого уплотнения 9. Таким образом, после закрытия запорного внутреннего клапана 3 за счет упругой деформации эластичного кольцевого уплотнения 9 создается дополнительный внутренний промежуточный затвор. Окончанием закрытия устройства для слива нефтепродуктов является закрытие независимого нижнего затвора в виде ступенчатой круглой наружной крышки 2. Для слива груза перечисленные операции выполняют в обратном порядке.

Заключение.

1 Приведены технические решения, направленные на модернизацию универсального сливного прибора, обеспечивающие повышение сохранности перевозимых грузов нефтебензиновыми вагонами-цистернами.

2 Особенностью предлагаемых разработок является возможность их реализации в рамках плановых видов работ в условиях вагонного депо.

Получено 18.04.2022

A. Putsiata. Complex of technical solutions for modernization of the universal of devices for discharge of tank car in the conditions of depot.

The problem of operational reliability of devices for discharge of liquid cargo from the tank car is described. The description of different technical solutions for modernization of the drain device with two degrees of protection are provided. Developments are simple for realization within performance of planned types of repair in the conditions of depot.

Список литературы

1 Конструирование и расчет вагонов : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / В. В. Лукин [и др.] ; под ред. В. В. Лукина. – М. : УМК МПС России, 2000. – 731 с.

2 Луценко, А. Н. Минимизация риска чрезвычайных ситуаций при перевозке нефти и нефтепродуктов железнодорожным транспортом в Дальневосточном : дис. ... канд. техн. наук / А. Н. Луценко ; ДВГУПС. – Хабаровск, 2015. – 155 с.

3 Луценко, А. Н. Обеспечение оперативного реагирования на ЧС на железнодорожном транспорте с применением ГИС ГЛОНАСС / А. Н. Луценко, В. Д. Катин // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2013. – № 3. – С. 118–124.

4 Повышение универсальности вагонов-цистерн для перевозки нефтехимических грузов / А. В. Песляк [и др.] // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2020. – Т. 17, Вып. 4. – С. 477–489.

5 Правила перевозок опасных грузов по железным дорогам ; утв. Советом по железнодорожному транспорту государств – участников Содружества, Протокол от 05 апреля 1996 г. № 15. – Режим доступа : <https://www.mintrans.gov.ru/documents/7/827>. – Дата доступа : 16.04.2022.

6 Сливной прибор вагона-цистерны : пат. 2615 Республика Беларусь, МПК (2006) В 61D 5/00, 17/00, В 65D 47/00 / В. И. Сенько, И. Л. Чернин, А. В. Пигунов, А. В. Путятю, В. В. Белогуб ; заявитель и патентообладатель Белорус. гос. ун-т трансп. – № u 20050567 ; заявл. 27.09.2005 ; опубл. 30.04.2006 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2006. – № 2 (49). – С. 172.

7 Сливной прибор железнодорожной цистерны : пат. 2970 Республика Беларусь, МПК (2006) В 61D 5/00, В 65D 47/00 / В. И. Сенько, И. Л. Чернин, А. В. Пигунов, А. В. Путятю, В. В. Белогуб ; заявитель и патентообладатель Белорус. гос. ун-т трансп. – № u 20060074 ; заявл. 13.02.2006 ; опубл. 30.08.2006 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2006. – № 4 (51). – С. 166–167.

8 Устройство для слива нефтепродуктов из вагона-цистерны : пат. 12216 Респ. Беларусь, В 61D 5/00, В 65D 47/00 / А. В. Путятю, И. И. Архутик ; заявитель Белорус. гос. ун-т тр-га – u 20190086 ; заявл. 03.04.2019 опубл. 28.02.2020 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2020. – № 1 (132). – С. 130.

9 Устройство для слива нефтепродуктов из железнодорожной цистерны : пат. 3286 Республика Беларусь, МПК (2007) В 61D 5/00, В 65D 47/00 / В. И. Сенько, И. Л. Чернин, А. В. Путятю, А. В. Пигунов, В. В. Свириденко ; заявитель и патентообладатель Белорус. гос. ун-т трансп. – № u 20060297 ; заявл. 12.05.2006 ; опубл. 28.02.2007 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2007. – № 1 (54). – С. 166.

10 Федоров, С. А. Совершенствование сливных устройств вагонов-цистерн для перевозки нефтепродуктов / С. А. Федоров, А. Ф. Дроздов // Развитие методов проектирования и внедрение новых видов ремонта грузовых специализированных вагонов : сб. науч. тр. – СПб. : Инженерный центр вагоностроения, 2008. – Вып. 4. – С. 55–63.

УДК 629.421.4

А. В. ПУТЯТО, доктор технических наук, Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА РЕСУРСА НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Приведен перечень основных работ, необходимых для оценки остаточного ресурса металлоконструкций грузовых вагонов с целью обоснования их дальнейшей безопасной эксплуатации, включающий пять этапов. Для повышения оперативности определения ресурса несущих конструкций вагонов с целью продления их срока службы предложено автоматизировать ряд этапов работ. Приведено описание расчетно-экспериментальной методики оценки остаточного ресурса на основе результатов виртуальных и натурных испытаний металлоконструкций вагонов, а также разработанной компьютерной модели ее автоматизации.

Введение. Практика эксплуатации и техническое состояние ряда типов и моделей грузовых вагонов показывают, что указанный в технических условиях срок службы в большинстве случаев оказывается меньшим предельного. Во многом это связано как с существенным запасом прочности, заложенным при проектировании, так и с особенностями эксплуатации конкретного типа вагонов, в том числе сезонностью их использования [1].

В настоящее время в Республике Беларусь и иных странах, использующих железнодорожную колею 1520 мм, принято решение о частичном отказе от регламентированных нормативных сроков службы для тех единиц подвижного состава, индивидуальный ресурс которых позволял разрешить их дальнейшую безаварийную эксплуатацию. В этом направлении разработана довольно непростая технология продления срока службы вагонам, основы которой регулируются Положением о продлении срока службы грузовых вагонов, курсирующих в международном сообщении [2]. Технология предусматривает ряд этапов работ, среди которых выполнение комплекса расчетов и испытаний несущих конструкций длительно эксплуатируемых вагонов, в результате выполнения которых имеет место достаточно большой объем данных, подлежащих дальнейшему анализу.

Целью настоящего исследования является разработка моделей и программ, позволяющих автоматизировать обработку результатов расчетов и испытаний для оперативного расчета остаточного ресурса несущих конструкций вагонов.

Основные этапы работ при оценке остаточного ресурса. К основным этапам работ, проводимых для вынесения технического решения о продлении срока службы вагону, относятся следующие позиции [1].

1 Изучаются особенности конструкции вагона, устанавливаются материалы, из которых изготовлены несущие элементы, выполняется анализ информации, связанной с проведением технических освидетельствований и ремонтов, изучаются условия эксплуатации.

2 Разрабатываются диагностические карты, в которых наряду с указанием основных данных вагона (номер, год постройки, дата и место последнего ремонта и т. п.), устанавливается объем проведения технического обследования; указываются основные характеристики вагона и места определения фактической

толщины металлоконструкции; приводятся результаты контроля сварных швов и основного металла; отмечается наличие дефектов (трещин, деформаций и т. п.), а также даются характеристики применяемого оборудования. По результатам технического обследования выполняется отбраковка вагонов, не подлежащих ремонту согласно действующей нормативной документации, а также отбирается типовой представитель для дальнейшего проведения контрольных испытаний.

3 Выполняется комплекс виртуальных испытаний (расчетов) с целью установления соответствия конструкции вагона, имеющей износ в результате длительной эксплуатации, актуальной нормативной документации.

4 По результатам выполнения расчетов, с учетом информации, полученной при техническом обследовании вагонов, разрабатывается схема наклейки тензометрических датчиков для дальнейшего проведения контрольных испытаний типового представителя. Выполняется комплекс контрольных испытаний, включающих режимы нагружения, характерные специфике эксплуатации: соударение вагонов, поездной режим движения в поезде или его имитация, загрузка-разгрузка.

5 Оценка остаточного ресурса несущей конструкции на основе результатов расчетов и испытаний.

В контексте поставленной цели, автоматизации среди перечисленных основных этапов работ в большей степени поддаются этапы 3 и 5.

Автоматизация виртуальных испытаний вагонов. Опыт выполнения конструкторских работ показал, что для расчета прочности кузовов вагонов, как правило, используется метод конечных элементов и необходима разработка моделей, адаптивных к оперативному внесению конструктивных изменений. В связи с этим в процессе разработки конечно-элементных моделей, создавались программные коды, в которых параметрически задавались как линейные характеристики самой конструкции (размеры элементов, толщины и пр.), так и механические характеристики материалов. С использованием описанных подходов специалистами отраслевой научно-исследовательской лаборатории «Технические и технологические оценки ресурса единиц подвижного состава» разработано более двадцати многофакторных конечно-элементных моделей различных типов и моделей эксплуатируемых вагонов (рисунок 1).

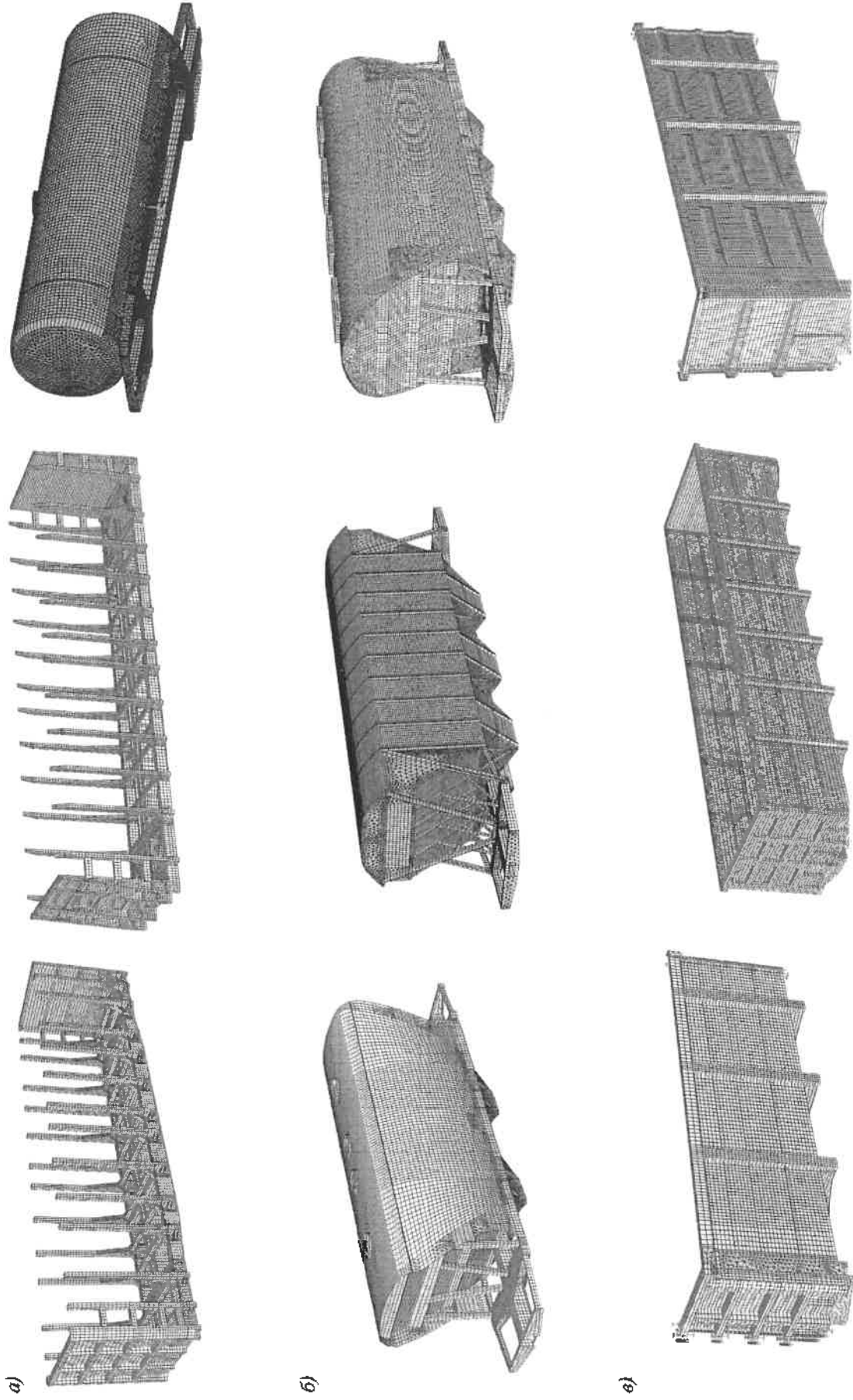


Рисунок 1 – Многофакторные расчетные модели различных типов и моделей эксплуатируемых вагонов:
а – вагон-цистерна для перевозки лесных грузов и вагон-цистерна для перевозки нефтепродуктов; *б* – вагон-бункерного типа для перевозки цемента, зерна и минеральных удобрений;
в – универсальный полувагон

Методика оценки остаточного ресурса и ее автоматизация. Параметром, характеризующим циклическую прочность, является коэффициент запаса сопротивления усталости, который представляет собой отношение предела выносливости ($\sigma_{a,N}$) для контрольной зоны при симметричном цикле и установившемся режиме нагружения при базовом числе циклов $N_0 = 10^7$ к величине амплитуды динамического напряжения условного симметричного цикла ($\sigma_{a,s}$), приведенной к базовому числу циклов N_0 и эквивалентной повреждающему воздействию эксплуатационных напряжений за расчетный срок службы.

Параметр $\sigma_{a,s}$ включает в себя срок службы металлоконструкции и определяется при k режимах нагружения по формуле

$$\sigma_{a,s} = \sqrt[m]{\sum_k \left[\frac{N_c^k}{N_0} \sum_i (\sigma_{ai}^k)^m p_i^k \right]},$$

где m – показатель степени в уравнении кривой усталости в амплитудах; N_c^k – суммарное число циклов динамических напряжений за расчетный срок службы для k -го режима нагружения; N_0 – базовое число циклов; σ_{ai}^k – уровень амплитуд напряжений в i -м интервале k -го режима нагружения; p_i^k – вероятность (частота) действия уровня амплитуд $\sigma_{a,s}$ в i -м интервале k -го режима нагружения.

Суммарное число циклов для k -го режима представим в виде

$$N_c^k = K^k T_p,$$

где K^k – коэффициент, учитывающий условия и интенсивность эксплуатации, а также связывающий суммарное число циклов динамических напряжений с расчетным суммарным сроком службы для k -го режима нагружения; T_p – суммарный расчетный срок службы.

Таким образом, оценка остаточного ресурса выполняется по следующей формуле:

$$T_k = \frac{\left(\frac{\sigma_{a,N}}{[n]} \right)^m N_0}{N_c^I \sum_i (\sigma_{ai}^I)^m p_i^I + N_c^{II} \sum_j (\sigma_{aj}^{II})^m p_j^{II} + N_c^{III} \sum_k (\sigma_{ak}^{III})^m p_k^{III}},$$

где $\sigma_{a,N}$ – предел выносливости (по амплитуде) для контрольной зоны при симметричном цикле и установившемся режиме нагружения при базовом числе циклов $N_0 = 10^7$,

$$\sigma_{a,N} = \bar{\sigma}_{a,N} (1 - z_p v_{\sigma_{a,N}}),$$

$\bar{\sigma}_{a,N}$ – медианное значение предела выносливости контрольной зоны,

$$\bar{\sigma}_{a,N} = \frac{\bar{\sigma}_{-1}}{(\bar{k}_{\sigma})_k},$$

$\bar{\sigma}_{-1}$ – среднее значение предела выносливости гладкого стандартного образца из материала при симметричном цикле изгиба на базе 10^7 ; $(\bar{k}_{\sigma})_k$ – среднее значение общего коэффициента снижения предела выносливости в выбранной контрольной зоне по отношению к пределу выносливости гладкого стандартного образца; z_p – квантиль распределения $\sigma_{a,N}$, соответствующий односторонней вероятности 95%; $v_{\sigma_{a,N}}$ – коэффициент вариации предела

выносливости материала; $[n]$ – минимально допустимый коэффициент запаса сопротивления усталости для выбранной зоны вагона; m – показатель степени в уравнении кривой усталости; $N_c^I, N_c^{II}, N_c^{III}$ – числа циклов за 1 год эксплуатации для каждой из эксплуатационных нагрузок соответственно; $\sigma_{ai}^I, \sigma_{ai}^{II}, \sigma_{ai}^{III}$ – амплитуды динамических напряжений приведенные к симметричному циклу для различных эксплуатационных нагрузок и их диапазонов; $p_i^I, p_j^{II}, p_k^{III}$ – вероятности действия уровня амплитуд $\sigma_{ai}^I, \sigma_{ai}^{II}, \sigma_{ai}^{III}$.

Выполнение испытаний несущей конструкции вагона выполняется в соответствии с требованиями [3]. При этом рассматривается три вида нагружения конструкции вагона: режим «сброс с клиньев», имитирующий колебания вагона при движении по участку пути; режим соударения вагонов и режим загрузки и разгрузки вагона. При режиме «сброс с клиньев» вагон накатывается на клинья, расположенные под колесами и далее «сбрасывается» с них, в результате чего выполняется регистрация динамических напряжений в контрольных областях несущей конструкции (посредством тензометрирования), а также определяется коэффициент вертикальной динамики. При режиме соударения вагонов выполняется ударное нагружение испытываемого вагона посредством наката и последующего удара в него вагоном-бойком. При этом выполняется регистрация сил соударения вагонов с использованием тензометрической автосцепки, а также запись изменения динамических напряжений в контрольных зонах несущей конструкции вагона. При режиме загрузки и разгрузки вагона также выполняется регистрация изменения напряжений в контрольных зонах конструкции.

Автоматизация расчета по приведенной выше методике реализована в компьютерной программе, разработанной в среде Visual Basic for Applications в EXCEL. Она позволяет программно получить значения повреждаемости для различных режимов эксплуатации, а также значение остаточного ресурса контрольной зоны несущей конструкции вагона. Программа включает пять этапов.

На этапе 1 (рисунок 2) пользователь выполняет ввод общих исходных данных, характерных для данного типа вагона и контрольной области его конструкции, ресурс которой определяется: среднесуточный груженный пробег вагона, среднетехническая скорость вагона, количество дней эксплуатации в году, статический прогиб рессорного подвешивания, предел выносливости материала контрольной области конструкции, коэффициент снижения предела выносливости контрольной области конструкции, предел прочности материала контрольной области конструкции, значение допустимого коэффициента запаса усталостной прочности.

На этапе 2 (рисунок 3) выполняется расчет повреждающего воздействия на контрольную область при действии вертикальных нагрузок, возникающих в результате вертикальных колебаний вагона при движении по рельсовой колее. В программном поле этапа 2 предусмотрены окна для ввода значений максимального и минимального напряжений цикла, возникающих в контрольной области конструкции, а также коэффициента вертикальной динамики вагона, которые получены экспериментальным путем при режиме «сброс вагона с клиньев».

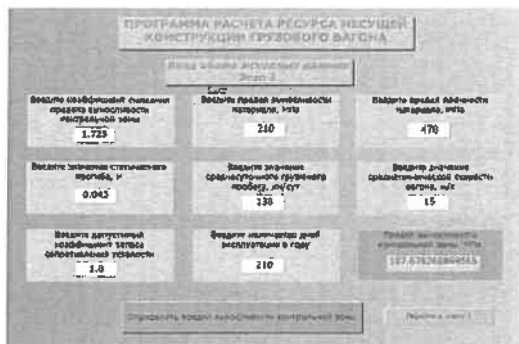


Рисунок 2 – Экранная копия этапа 1 программы

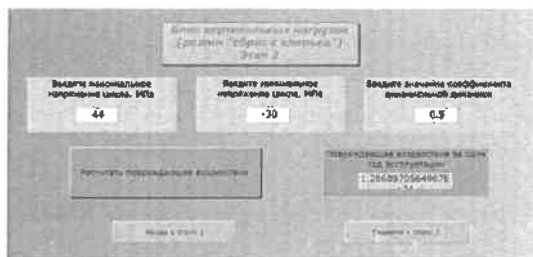


Рисунок 3 – Экранная копия этапа 2 программы

На этапе 3 (рисунок 4) выполняется расчет повреждающего воздействия на контрольную область при действии продольных нагрузок, возникающих в результате соударения вагонов в процессе эксплуатации. В программном поле этапа 3 предусмотрены окна для ввода значений максимального и минимального напряжений цикла, возникающих в контрольной области конструкции при различных значениях силы соударения вагонов, которые получены экспериментальным путем.

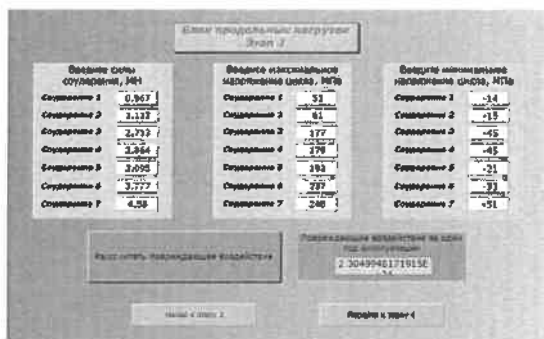


Рисунок 4 – Экранная копия этапа 3 программы

На этапе 4 (рисунок 5) выполняется расчет повреждающего воздействия на контрольную область при действии нагрузок, возникающих в результате загрузки и разгрузки вагона в процессе эксплуатации. В программном поле этапа 4 предусмотрены окна для ввода значений максимального и минимального напряжений

цикла, возникающих в контрольной области конструкции, которые получены экспериментальным путем.

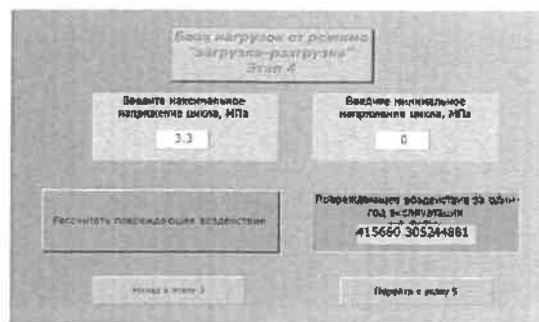


Рисунок 5 – Экранная копия этапа 4 программы

Этап 5 является заключительным и предусматривает расчет остаточного ресурса контрольной области несущей конструкции грузового вагона.

Компьютерная программа представлена одним основным файлом resource.xlsm. Программа может быть реализована в операционной системе не ниже Windows 7. Обязательным условием работы программы является наличие установленной программы Microsoft Excel версии не ниже 2007 с включенными макросами.

Заключение.

1 Приведено описание основных этапов работ по оценке остаточного ресурса несущих конструкций грузовых вагонов.

2 Для автоматизации определения ресурса разработаны конечно-элементные многофакторные расчетные модели ряда моделей металлоконструкций грузовых вагонов для оценки прочности с учетом коррозионных повреждений.

3 Разработана компьютерная программа автоматизации расчета ресурса на основе расчетно-экспериментальной методики, базирующейся на результатах виртуальных и натуральных испытаний.

Список литературы

1 Путято, А. В. Прогнозирование остаточного ресурса вагона хоппер-дозатора после длительной эксплуатации с учетом фактических физико-механических характеристик материала несущей конструкции / А. В. Путято, Е. Н. Коновалов, П. М. Афанасьев // Механика машин, механизмов и материалов. – 2016. – № 1 (34). – С. 26–35.

2 О корректировке «Положения о продлении срока службы грузовых вагонов, курсирующих в международном сообщении» / Ю. П. Бороненко [и др.] // Евразия Вести. – 2012. – № X. – С. 13–14.

3 Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества : РД 24.050.37–95. – Введ. 02.02.1995. – М. : ГосНИИВ, 1995. – 101 с.

Получено 17.04.2022

A. Putsiata. Automation of calculation of resource of freight cars after long-term operation.

The stages of evaluation of the residual resource of metal structures of freight cars are given. To increase the efficiency of determining the resource of bearing structures of cars in order to extend their service life, it is proposed to automate some stages. The description of the calculation and experimental methodology for estimation of the residual resource based on the results of calculation and tests of cars, as well as the developed computer model of its automation are given.

УДК 656.212.5

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

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

Рассмотрены цифровые источники информации для роботизированных систем и принципы действия цифровых устройств контроля технического состояния и диагностики подвижного состава. Сформулированы предложения по расширению функций робототехнических комплексов для осмотра грузовых вагонов. Показаны пути повышения производительности труда осмотриков вагонов и сокращения времени осмотра составов. Рассмотрено информационное обеспечение ремонта грузовых вагонов.

Введение. Для решения задач по выполнению требований к повышению безопасности движения поездов с одновременным повышением производительности труда необходимо применение эффективных цифровых систем диагностирования технического состояния подвижного состава на основе новейших технологий роботизированного осмотра и ремонта [1].

Наибольшие трудности для безопасности перевозочного процесса создаются в случае, когда неисправность проявляет себя в момент нахождения поезда в пути следования. Так, время вывода с перегона грузового вагона при неисправности буксового узла зачастую приводит к срывам графика движения поездов. При этом некоторые неисправности возможно выявить только при движении грузового вагона. В основном это относится к колесным парам и буксовым узлам, а также другим элементам ходовых частей грузовых вагонов.

Для определения технического состояния подвижного состава в пути следования и на подходах к станции задействованы многочисленные средства технического контроля. К основным системам диагностики подвижного состава в движении относятся: комплексы технических средств мониторинга нагрева букс вагонов КТСМ-01Д и КТСМ-02, автоматизированные диагностические системы контроля геометрических параметров колесных пар вагонов «Комплекс-2», приборы акустического контроля для выявления неисправностей буксовых узлов ПАК, системы обнаружения дефектов колес по поверхности катания LASCA [2].

Постановка задачи. Информационно-измерительные системы располагаются в основном перед пунктами технического обслуживания ПТО крупных узловых станций и обеспечивают осмотриков и ремонтников грузовых вагонов предварительной информацией о выявленных дефектах. Такое распределение функций между перегонными и станционными системами диагностики для определения неисправных деталей и узлов в ходовой части вагонов способствует росту производительности труда. Однако основной объем работы по текущему ремонту определяется в результате визуального осмотра подвижного состава.

Осмотр вагонов является важнейшим элементом для обеспечения безопасности перевозочного процесса. Актуальным вопросом остается обслуживание и предрейсовый осмотр составов грузовых вагонов. Основным недостатком известных технических средств – низкий уровень обнаружения дефектов в труднодоступных для осмотра местах литых деталей грузового вагона в силу

проявления так называемого «человеческого фактора» (квалификации осмотрика, его дисциплинированности, возможного снижения остроты зрения из-за длительного рабочего времени, воздействия климатических условий и т. д.). Сложность контроля литых деталей заключается в том, что дефекты носят развивающийся характер (под действием переменных нагрузок происходит развитие дефектов до критических параметров, что влечет за собой разрушение детали). При наличии дефекта в глубине отливки трещина от дефекта литья развивается постепенно внутри детали до критического размера, при котором происходит разрушение. Из-за существенного увеличения числа вагонов в составе (в последнее время до 70 и более) объем работы увеличивается.

Основная часть. Внедрение роботов для осмотра ходовой части вагона обеспечит более быстрое выявление дефектов и их локализацию. Для решения проблемы, после соответствующего перепрограммирования, может быть использована передвижная платформа робота фирмы Digital Vanguard. Этот робот снабжен манипулятором и телескопической «роборукой», а также набором вспомогательного оборудования, которое можно преобразовать для диагностирования ходовой части вагона. Стандартная комплектация предложенного робота-осмотрика включает в себя следующие составляющие: беспроводной цифровой робот на гусеничном ходу; 2G командная консоль; Bluetooth-манипулятор; USB-гарнитура и контроллер Playstation; USB-клавиатура и концентратор; антенна робота KIT, в т. ч. штатив [3, 4].

Особенностями данного робота являются: порт для дополнительного зондирования и обнаружения устройств, допускающий одновременное использование нескольких функций; телескопическая и шарнирная «рука» с шестью осями движения; три стандартные видеокамеры и инфракрасный излучатель для работы в условиях недостаточной освещенности; регулирование скорости движения робототехнической платформы; возможность многократного увеличения изображений видеокамер и аудиозапись сообщений осмотрика. Дисплей пульта имеет следующие характеристики: 39,6 см (15.6") Full HD 1080p 1920×1080 800 NIT, что позволяет использовать его даже при солнечном освещении [4].

С помощью видеокамер высокого разрешения, например Vanguard Infrared, установленных на гибком

дистанционно управляемом манипуляторе, данная модель роботизированного комплекса позволит осматрщику определить дефекты тормозных колодок, боковых рам тележек, буксовых узлов, центрального рессорного подвешивания, гасителей колебаний, подпятников, рессорного подвешивания. При этом повысится качество осмотра ходовой части вагонов в труднодоступных местах, особенно в условиях недостаточной освещенности. Размещение на дополнительной консоли лазерного профилометра позволит заменить трудозатратные операции с абсолютным шаблоном для контроля геометрии вагонного колеса, а лазерная измерительная рулетка упростит операции с фиксацией линейных размеров между гребнями колес вагонной оси [6].

В целях расширения диагностических функций в конструкцию робота может быть добавлен магнито-рошковый дефектоскоп с компактным намагничивающим устройством. Прибор позволит выявлять микротрещины в колёсных парах вагона, что расширит возможности применения робота. Также предполагается использовать ультразвуковой дефектоскоп для обнаружения дефектов в деталях из различных металлических и неметаллических материалов методами неразрушающего контроля [5]. Специально разработанные алгоритмы управления манипулятором позволяют обнаруживать и классифицировать дефекты в недоступных для осмотра местах. Благодаря специальным аналого-цифровым преобразователям и опциям цифрового фильтрации измеряемые сигнатуры могут быть преобразованы в полезную информацию без выкатки тележек [6].

Посредством монтажа нескольких консолей на одной платформе очередность действий осматрщика преобразуется в серию последовательно выполняемых манипуляций на пульте управления робототехнического комплекса. Для этого необходимо выполнить минимальные технические мероприятия. Поскольку посадочные места для дополнительных приборов предусмотрены на этапе резервирования опций для расширения функциональных свойств, появляется возможность повысить качество технического осмотра подвижного состава. Становится доступным контроль излома оси колесной пары, осевой шейки или внутренней стороны колеса, контроль дефектов поверхности катания колес подвижного состава, фиксация изломов боковой рамы вагонной тележки, обнаружение трещин в корпусах автосцепок, проверка исправности рычажной тормозной системы и воздухораспределителей. Следует отметить, что робот-осматрщик позволяет осуществлять как мониторинг технического состояния отдельных узлов и деталей грузовых вагонов, так и сбор информации о выявленных дефектах в автоматическом режиме с передачей данных результатов контроля в ПТО в режиме online. Цифровизация позволяет осуществлять разработку управляющих программ для роботов-осматрщиков. При этом процесс отрабатывается не на физических вагонах, а на виртуальных (цифровых) эталонах дефектов, что минимизирует риски поломки оборудова-

ния и необнаружения бракованных деталей. Создание на основе технологии Интернета вещей (Internet of Things (IoT) цифровых двойников объектов контроля позволит резко повысить эффективность осмотра и ремонтных работ [7, 8].

Для осмотра грузовых вагонов могут быть применены передвижные робототехнические устройства, включающие систему автоматизированного визуального контроля типа «Техновизор», интеллектуальный комплекс непрерывной диагностики типа «КНД-1», аппаратно-программное устройство робототехнического средства.

Прибор «Техновизор» предназначен для визуального измерения геометрических параметров деталей грузового вагона, таких как толщина и ширина обода колеса, завышение/занижение фрикционных клиньев, разность высот осей смежных автосцепок, нарушение монтажа магистрального трубопровода. Комплекс типа «КНД-1» предназначен для выявления трещин в литых деталях грузовых вагонов и передачи информации в виде «Колесо целое», «Рама целая» или, наоборот, они дефектны. Аппаратно-программное устройство робототехнического средства предназначено для получения, обработки и хранения первичной информации о техническом состоянии грузового вагона, поступающей от комплексов типа «Техновизор» и «КНД-1», передачи информации о техническом состоянии вагона на АРМ оператора ПТО, а также для позиционирования робототехнического средства на конкретном объекте контроля в виде вагонной тележки.

С целью сокращения времени диагностирования технического состояния грузового вагона робототехническое средство оснащено двумя диагностическими комплексами типа «Техновизор» и «КНД-1», которые размещаются на телескопических штангах, обеспечивающих возможность вести одновременно контроль двух вагонных колес и боковой рамы тележки. Функциональная схема робототехнического средства на основе совместного применения систем «Техновизор» и «КНД-1» приведена на рисунке 1 [9].

В общем случае работа робототехнического средства заключается в автоматическом повторении действий осматрщика вагонов при высоком качестве контроля технического состояния грузового вагона. Оцифровывание дефектов осуществляется автоматически путем многократных измерений контролируемых параметров, что существенно уменьшает ошибки по сравнению с ручным осмотром.

Определение порядкового номера вагона с дефектной тележкой, колесной парой и номера оси в вагоне возможно при использовании индуктивных отметчиков счета осей (датчиков колес подвижного состава). Использование счетчиков импульсов, функционирующих по специальным алгоритмам, дает возможность осуществлять счет физических вагонов независимо от числа осей в них, а также фиксировать отдельные оси в вагоне.

Благодаря объединению и совмещению данных по дефектам и системы счета осей в проверяемом составе реализуется возможность конкретной локализации вагонной оси или боковой рамы тележки с дефектом [2].



Рисунок 1 – Функциональная схема робототехнического средства для контроля технического состояния грузовых вагонов

Помимо осмотра и текущего ремонта в ПТО особого внимания заслуживает вопрос качественного осуществления всех видов ремонта вагонов, в том числе деповских ремонтов. На железнодорожном транспорте РФ фиксируется в среднем более 1 млн отцепок во внеплановый ремонт ежегодно, а, например, в 2017 году коэффициент отцепки одного вагона составил 1,23 (1,3 млн отцепок при парке 1,08 млн вагонов) [10]. В настоящее время качество производства деповского ремонта грузовых вагонов остается насущной проблемой. Наибольшее количество отцепок происходит из-за неисправностей колесных пар, тележек и кузовов, автотормозного оборудования и буксовых узлов. Часть вагонов после прохождения деповского ремонта не отрабатывает положенного срока и преждевременно выходит из строя. Принимаемые в вагоноремонтных предприятиях меры по укреплению контроля за качеством ремонта, несмотря на несомненный положительный эффект, не снимают полностью существующей проблемы – обеспечения надлежащего качества ремонта грузовых вагонов и оптимизации целевого состояния деятельности депо в показателях «себестоимость – качество». Для повышения эффективности управления деятельностью вагоноремонтного депо и качества ремонта грузовых вагонов необходимо системное решение.

На базе вагоноремонтного депо перспективно внедрение «Автоматизированной системы управления технологическим процессом ремонта грузовых вагонов АСУ-ТОРО В» [10]. Указанная система позволит добиться положительного решения поставленных задач за счет:

- оптимизации процесса оперативного планирования;
- цифровой паспортизации вагона и его составных узлов;
- пооперационного контроля технологического цикла ремонта;

– контроля комплектации подвижного состава и параметров его узлов;

– формирования и ведения отчетных форм.

В рамках анализа данной системы рассмотрим один из компонентов функциональности автоматизированной системы управления технологическим процессом ремонта вагоноремонтного депо – пооперационный контроль исполнения технологического процесса ремонта грузовых вагонов, в который входит:

- приемка в ремонт;
- дефектация, комплектование и передача в ремонт;
- техническое диагностирование;
- ремонт и доработка;
- сборка, монтаж;
- испытания;
- выдача из ремонта.

Указанная последовательность операций определена существующими технологическими картами на ремонт вагонов и каждого из его узлов (автосцепка, колесная пара, авторегулятор и т. д.). Работа в автоматизированной системе строится на основе технологического цикла ремонта деталей вагона, приведенного на рисунке 2.

Строгая последовательность ввода данных и иерархическая структура слежения за операциями технологического процесса позволяют контролировать процесс ремонта с рабочих мест руководителей. Упрощается система контроля над исполнением всех регламентированных действий, что, несомненно, повышает качество ремонта.

Примерная структурная схема идентификации деталей грузового вагона в экспериментальной системе АСУ-ТОРО В приведена на рисунке 3 для вагоноцементовоза [10].

Операции технологического процесса в автоматизированной системе подтверждаются цифровыми подписями ремонтников, совершающих технологическую операцию в системе.

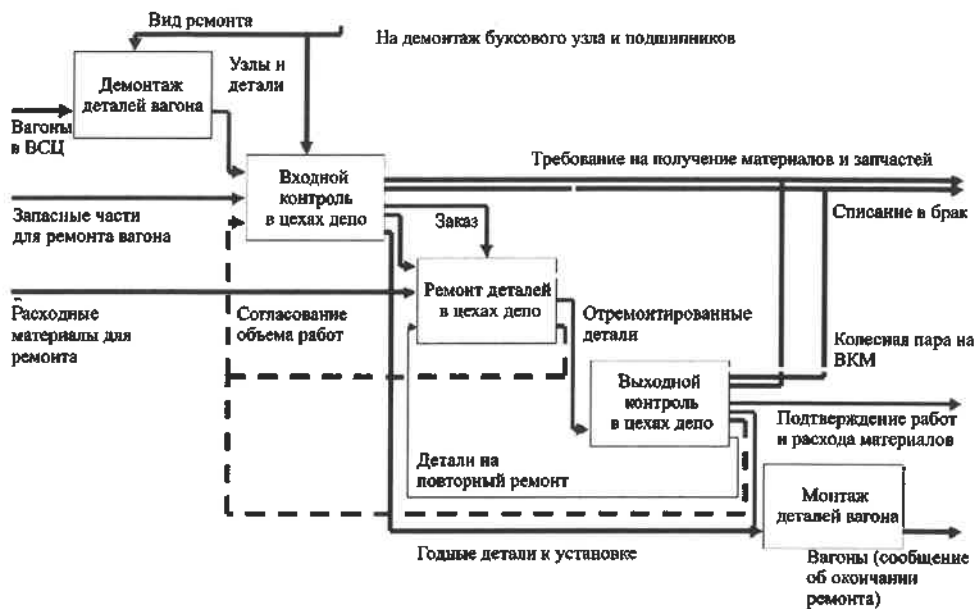


Рисунок 2 – Технологический цикл ремонта деталей и узлов вагонов

Цифровые подписи в виде шифрованного табельного номера ремонтника формализуется с помощью носимого технологического пульта с микропередатчиком. Цифровая подпись

свидетельствует об окончании этапа технологического процесса и подтверждает правильность и полноту данных на текущем этапе (рисунок 4).

Идентификатор	Наименование	Статус
442000001_1	Тяговой электр. 22511	00000000100055303 10100020412 000
442000001_2	Тяговой электр. 1493	00000000100055304 10100020413 000
442000002_1	Автоматика 43026	00000000100055305 10100020414 000
442000002_2	Автоматика 14932	00000000100055306 10100020415 000
442000003_1	Электронный автомат 3907	00000000100055307 10100020416 000
442000003_2	Электронный автомат	00000000100055308 10100020417 000
442000007_1	Надресорная балка 50945	00000000100055309 10100020418 000
442000004_1	Колесная пара 40416	00000000100055326 10100020425 000
442000004_2	Колесная пара 14791	00000000100055327 10100020427 000
442000005_1	Возврат ресс. 112678	00000000100055328 10100020429 000
442000005_2	Возврат ресс. 20909	00000000100055329 10100020429 000
442000007_2	Надресорная балка 529	00000000100055336 10100020439 000
442000004_1	Колесная пара 14931,4	00000000100055301 10100020430 000
442000004_2	Колесная пара 16201	00000000100055302 10100020431 000
442000005_1	Возврат ресс. 44556	00000000100055325 10100020432 000
442000005_2	Возврат ресс. 44369	00000000100055300 10100020433 000
442000011	Упругая часть 8301 59019	00000000100055327 10100020438 ✓
442000011	Упругая часть 2078 9509	00000000100055328 10100020434 ✓
442000012	Автоматический 17756	00000000100055326 10100020422 ✓
442000013	Автомат	00000000100055312 ✓
442000014_1	Цепляк	00000000100055324 ✓
442000014_2	Цепляк	00000000100055324 ✓

Рисунок 3 – Структурная схема идентификации деталей грузового вагона



Рисунок 4 – Последовательность заполнения данных для журналов форм ВУ с помощью цифровых подписей

Существующая последовательность ремонта фиксируется девятью цифровыми подписями (согласно позициям системы):

- 1) приемщик;
- 2) дефектоскопист – входной контроль;
- 3) бригадир/мастер – входной контроль;
- 4) ремонтник (рабочий);
- 5) дефектоскопист – выходной контроль;
- 6) бригадир/мастер – выходной контроль;
- 7) монтажник (рабочий);
- 8) приемщик вагонов ЦВ;
- 9) начальник ремонтного депо.

На основе данных, вводимых пользователями системы, формируются в автоматическом режиме и ведутся в цифровом виде отчетные формы ремонтной деятельности с пооперационным контролем технологического процесса ремонта каждого узла вагона, с вводом и контролем первичных данных, необходимых для формирования цифровых отчетных форм ВУ (с возможностью распечатки): ВУ-32, ВУ-53, ВУ-90, ВУ-92, ВУ-93, ВУ-47, ВУ-68, ВУ-31, ВУ-36, ВУ-52, ВУ-50 [9].

Заключение. В представленном исследовании предложены модели робототехнической системы для осмотра ходовой части вагона, выполняющей ряд функций осмотрщика; определены параметры и рабочие характеристики робота для повышения достоверности обнаружения дефектов в литых и труднодоступных деталях грузового вагона.

Данные системы заменяют участие человека в ряде монотонных, трудоемких операций осмотра ходовой части вагона, помогают экономить материалы и время. Достоинством предложенной технологии является многократное увеличение числа измерений дефектов подвижного состава, в отличие от ручного осмотра, осуществляющего в большинстве случаев однократное измерение в дискретных точках ходовой части вагонов. Робот-осмотрщик на 40–50 % сокращает время осмотра состава вагонов и снижает потребность в отдельных приспособлениях и инструментах для контроля технического состояния подвижного состава.

Получено 11.04.2022

V. V. Burchenkov, Digital Technologies for Improving the Maintenance and Repair of Freight Cars.

The article considers digital sources of information for robotic systems and the principles of operation of digital devices for monitoring the technical condition and diagnostics of rolling stock. Proposals were formulated to expand the functions of robots-inspectors of freight cars. The ways of increasing the productivity of wagon inspectors and reducing the time of inspection of trains are shown. Considered information support for the repair of freight cars.

Внедрение автоматизированных цифровых систем ремонта деталей и узлов позволяет существенно уменьшить влияние «человеческого фактора» на достоверность и качество диагностирования технического состояния грузовых вагонов, повысить уровень технологической дисциплины.

Список литературы

- 1 Розенберг, Е. Н. О направлениях развития цифровой железной дороги / Е. Н. Розенберг, Ю. Н. Дзюба, В. В. Батраев // Автоматика, связь, информатика. – 2018. – № 1. – С. 9–12.
- 2 Бурченков, В. В. Автоматизация технического контроля и диагностики подвижного состава железных дорог : [монография] / В. В. Бурченков. – Гомель : БелГУТ, 2020. – 254 с.
- 3 Бурдаков, С. Ф. Системы управления движением колесных роботов / С. Ф. Бурдаков, И. В. Мирошник, Р. Э. Стельмаков. – СПб. : Наука, 2001. – 230 с.
- 4 Градецкий, В. Г. Управляемое движение мобильных роботов по произвольно ориентированному в пространстве поверхностям / В. Г. Градецкий, В. Б. Вешников, С. В. Калининко. – М. : Наука, 2001. – 360 с.
- 5 Вильданов, Р. Г. Магнитный интроскоп МД-11 ПМ / Р. Г. Вильданов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2004. – № 2. – С. 50–52.
- 6 Баранов, Л. А. Оценки погрешности и помехоустойчивости тракта аналого-цифрового преобразования в системах автоматического контроля и управления / Л. А. Баранов // Электротехника. – 2017. – № 9. – С. 29–36.
- 7 Тэттер, В. Ю. Диагностирование подвижного состава и его связь с направлением цифровизации железных дорог / В. Ю. Тэттер, А. Ю. Тэттер // Национальные приоритеты России. – 2018. – № 3. – С. 87–93.
- 8 Ковалев, С. М. Интеллектуализация контроля вагонов в железнодорожном сортировочном парке / С. М. Ковалев, А. В. Суханов // Мир транспорта. – 2019. – Т. 17, № 4. – С. 98–110.
- 9 Поздеев, А. В. Разработка и внедрение автоматизированной системы ремонта грузовых вагонов / А. В. Поздеев, Н. Ж. Кинаш, Д. А. Кулаков // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2012. – № 4 (36). – С. 182–191.
- 10 Райков, Г. В. Технология учета комплектации грузовых вагонов ходовыми частями в межремонтном периоде / Г. В. Райков, Г. А. Виноградова // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2005. – № 2. – С. 22–28.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

УДК 656.222.3

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

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕВОЗОЧНЫМ ПРОЦЕССОМ

Дано описание методики прогнозирования продолжительности выполнения технологических операций (ПВТО) в интеллектуальной системе управления перевозочным процессом, которая предусматривает три этапа расчета: подготовительный, оперативный и самообучение. Для прогнозирования предложено формирование массива опыта, который включает множество основных и дополнительных факторов, влияющих на ПВТО в установленной эксплуатационной обстановке. Описаны процедуры оценки влияния факторов на ПВТО и корректировки этих значений в процессе самообучения. Для программной реализации предложенного метода прогнозирования ПВТО предлагается использовать математический аппарат теории искусственных нейронных сетей. Построена нейронная сеть и выполнена ее программная реализация.

Формирование интеллектуальной системы управления перевозочным процессом (ИСУПП) предполагает решение эксплуатационных задач (ЭЗ) планирования поездной, грузовой и станционной работы, в том числе в условиях изменяющейся эксплуатационной обстановки на полигоне [1]. Разработка планов станционной работы предполагает решение двух типов ЭЗ:

- 1) идентификации последовательности выполнения операций с вагонами, локомотивами и поездами (динамическими объектами) в рамках технологического цикла (решение данного типа ЭЗ описано, например, в [2-4]);
- 2) определение продолжительности выполнения этих операций и, как результат, времени готовности поезда к отправлению.

Для решения ЭЗ второго типа необходимо спрогнозировать продолжительность выполнения технологической операции (ПВТО) (поезда, вагона, состава и др.). В настоящее время при определении ПВТО используются методы графического и математического моделирования, методы аналитических расчетов. Однако в условиях изменения параметров эксплуатационной обстановки (параметры поездопотока, уровень загрузки объектов станции, техническое состояние подвижного состава, погодные условия и др.) существующие методы не позволяют однозначно установить продолжительность выполнения той или иной операции.

Следовательно, необходимо применение таких математических моделей, которые позволяют выполнять расчеты не только исходя из заранее заложенных параметров и закономерностей, но и способны анализировать информацию о текущей эксплуатационной обстановке, находить в ней закономерности и учитывать воздействие случайных факторов.

Исходная идея прогнозирования ПВТО основана на предложенных профессором Л. П. Тулуповым ситуационно-эвристических методах прогнозирования (СЭМП) [5]. В СЭМП предполагается, что стохастическая связь между ПВТО и каждым влияющим фактором достаточно точно описывается линейными моделями лишь в узких границах изменения факторов. Из этого предположения следует, что при установлении формы связи допустимо использование лишь тех опытных (статистических) данных, которые в определенном смысле реализованы в сходных эксплуатационных обстановках.

Считается заранее установленным, что значение ПВТО зависит от основных (Φ_i) и дополнительных (Φ_v) факторов, где $i = 1, 2, \dots, I; v = 1, 2, \dots, \theta$. На начало расчета значения факторов известны и в совокупности составляют исходную эксплуатационную обстановку ($\Phi_i^{z+1}, \Phi_v^{z+1}$).

Под прогнозом понимается установленное значение ПВТО в эксплуатационной обстановке, которая сложилась на плановый период $\tilde{X}_1^{z+1}, \tilde{X}_2^{z+1}, \tilde{X}_I^{z+1}, \dots, \tilde{X}_I^{z+1}$.

Обозначим всю их совокупность через (\tilde{X}_I^{z+1}) , причем величина $\tilde{X}^{z+1} = \sum_i \tilde{X}_I^{z+1}$ имеет физический смысл, т. е. группа прогнозируемых показателей однородна. Предусматривается три этапа расчетов: подготовительный, оперативный и самообучение.

На подготовительном этапе для каждого ПВТО устанавливается перечень влияющих факторов (Φ_i) и технология их определения. Количественные характеристики эксплуатационной обстановки и соответствующие им отчетные значения ПВТО составляют строку опыта. Строки опыта за z предплановых периодов образуют массив опыта Z . Вид матрицы, характеризующей массив опыта, представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Массив опыта Z

Строка опыта	Факторы		Выполненные показатели
	основные	дополнительные	
1	$\Phi_1^1 \dots \Phi_1^1 \dots \Phi_1^1$	$\omega^1 \sigma^1$	$X^1 X_1^1 \dots X_I^1 \dots X_I^1$
...
j	$\Phi_1^j \dots \Phi_1^j \dots \Phi_1^j$	$\omega^j \sigma^j$	$X^j X_1^j \dots X_I^j \dots X_I^j$
...
z	$\Phi_1^z \dots \Phi_1^z \dots \Phi_1^z$	$\omega^z \sigma^z$	$X^z X_1^z \dots X_I^z \dots X_I^z$
$z+1$	$\Phi_1^{z+1} \dots \Phi_1^{z+1} \dots \Phi_1^{z+1}$	$\omega^{z+1} \sigma^{z+1}$???

В качестве влияющих используются только те факторы, значения которых на плановый период могут быть определены. Однако на фактическое выполнение прогнозируемых показателей могут оказывать сильное влияние и чисто случайные величины, значения которых предвидеть невозможно. К таким факторам, например, относятся стихийные бедствия, чрезвычайные происшествия и т. д. Опытные данные, относящиеся к условиям, резко отличающимся от обычных, в расчетах не используют.

Методика предусматривает возможность логического контроля. Если, например, разница между прогнозом и фактическим ПВТО превысила заданный уровень, то строке опыта автоматически присваивается запрещающий признак. Для расчета используется откорректированный массив опыта, который не содержит резких, нехарактерных отклонений.

На подготовительном этапе на основании экспертных оценок устанавливаются доли влияния каждого фактора на показатель x_i . Тогда прогноз

$$\bar{X}^j = \sum_{i=1}^I \bar{x}_i \Phi_i^j. \quad (1)$$

Имеется возможность составить систему из z уравнений:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^I \bar{x}_i \Phi_i^1 = X^1; \\ \sum_{i=1}^I \bar{x}_i \Phi_i^j = X^j; \\ \sum_{i=1}^I \bar{x}_i \Phi_i^z = X^z. \end{cases} \quad (2)$$

На каждый \bar{x}_i накладываются технологические ограничения:

$$x_i^{\min} \leq \bar{x}_i \leq x_i^{\max}, \quad (3)$$

где x_i^{\min} , x_i^{\max} – граничные значения изменения ПВТО.

Совокупность коэффициентов (\bar{x}_i) при ограничениях (3) может определяться различными способами, например с использованием алгоритмов поиска долгосрочных нормативов (\bar{x}_i), исходя из условия

$$\sum_{i=1}^z (X^j - \bar{X}^j)^2 = \sum_{i=1}^z \left[X^j - \sum_{i=1}^I \bar{x}_i \Phi_i^j \right]^2 \rightarrow \min, \quad (4)$$

где X^j – отчетное значение ПВТО; \bar{X}^j – прогнозное значение ПВТО.

Нормативы (\bar{x}_i) используются для выбора из массива опыта наиболее близких к предплановой эксплуатационных обстановок. Критерий близости j -й строки массива опыта задается в виде функции $K^j = \xi(\Phi_i^j, \bar{x}_i, \Phi_i^{z+1})$.

Функция ξ определяет способ отбора близких эксплуатационных обстановок. Нельзя утверждать, что в массиве опыта всегда есть хотя бы одна строка j , у которой эксплуатационных обстановок ($\Phi_i^j, \sigma^j, \omega^j$) точно совпадает с предплановой ($\Phi_i^{z+1}, \sigma^{z+1}, \omega^{z+1}$).

Однако среди строк найдется несколько исходных эксплуатационных обстановок, которые в определенном смысле более близки к предплановой по сравнению другими.

Эксплуатационная обстановка определяется вектором с координатами ($\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_I$). При покоординатной оценке эксплуатационной обстановки j -й строки массива Z будем считать близкой к $z+1$, если выполняется следующее неравенство:

$$K_{(z+1)j} = K_j^j = \left| \Phi_i^{z+1} - \Phi_i^j \right| \leq \varepsilon_i, \quad (5)$$

где ε_i – допустимое отклонение ($i = 1, 2, \dots, I$).

Влияющие факторы могут быть неравнозначными, что определяет неравнозначность величин ε_i . Если в области, удовлетворяющей условию (5), не окажется достаточного количества эксплуатационных обстановок ($M < M_{\min}$), то

допустимую разность критериев увеличивают с заданным шагом. Если и в этом случае количество выбранных близких эксплуатационных обстановок ($M < M_{\min}$), близость ситуаций оценивается другими критериями.

Если требуется, чтобы некоторые факторы в близких ситуациях совпадали, то в этом случае $\varepsilon_i = 0$.

В качестве критериев могут быть использованы:

– модуль суммы покоординатных разностей

$$S_{(z+1)j}^{IV} = K_{II}^j = \left| \sum_{i=1}^I \bar{x}_i (\Phi_i^{z+1} - \Phi_i^j) \right|; \quad (6)$$

– сумма модулей разности координат

$$S_{(z+1)j}^V = K_{III}^j = \left| \sum_{i=1}^I \bar{x}_i (\Phi_i^{z+1} - \Phi_i^j) \right|. \quad (7)$$

Критерии носят эвристический характер, что отражено в названии метода. Чтобы отобразить наиболее близкие ситуации из массива опыта, для всех строк таблицы 1 по формулам (6) и (7) находим величины K^j и из них выбираем K_{\min} и K_{\max} . Границы допустимой области отбора близких эксплуатационных обстановок определяем по формуле

$$K_{\text{отр}} = K_{\min} + \beta(K_{\max} - K_{\min}), \quad (8)$$

где β – параметр отбора ситуаций.

Если величины K^j распределены неравномерно на отрезке $[K_{\max}, K_{\min}]$, то в допустимую зону или массив близких строк опыта может попасть слишком много или слишком мало строк. Поэтому вводится дополнительное ограничение

$$M_{\min} \leq M \leq M_{\max}, \quad (9)$$

где M – число отобранных строк.

В массиве близких строк опыта (таблица 2) отобранные строки упорядочены в соответствии с возрастанием критерия $K_{\min}^1 < K^2 < \dots < K^m < \dots < K^M$.

Таблица 2 – Массив близких строк опыта

Строка	Критерий близости	Основные факторы	Скорректированные показатели
1	K_{\min}^1	$\Phi_1^1 \dots \Phi_i^1 \dots \Phi_I^1$	$\bar{X}^1 \bar{X}_1^1 \dots \bar{X}_i^1 \dots \bar{X}_L^1$
...
m	K^m	$\Phi_1^m \dots \Phi_i^m \dots \Phi_I^m$	$\bar{X}^m \bar{X}_1^m \dots \bar{X}_i^m \dots \bar{X}_L^m$
...
M	K^M	$\Phi_1^M \dots \Phi_i^M \dots \Phi_I^M$	$\bar{X}^M \bar{X}_1^M \dots \bar{X}_i^M \dots \bar{X}_L^M$
$M+1$		$\Phi_1^{z+1} \dots \Phi_i^{z+1} \dots \Phi_I^{z+1}$? ... ? ... ? при известных $\sigma^{z+1}, \omega^{z+1}$

Связь между отобранными строками и исходной эксплуатационной обстановкой ($\Phi_i^{z+1}, \sigma^{z+1}, \omega^{z+1}$), приведенной к строке $M+1$ (таблица 2), можно установить несколькими способами. Наиболее быстродействующим является усреднение факторов и показателей массива близких строк:

$$\bar{\Phi}_i = \frac{\sum_{m=1}^M \Phi_i^m}{M}; \quad \bar{X} = \frac{\sum_{m=1}^M \bar{X}^m}{M}; \quad \bar{X}_i = \frac{\sum_{m=1}^M \bar{X}_i^m}{M}. \quad (10)$$

Строка усредненного опыта при прогнозировании $\bar{\Phi}_1 \dots \bar{\Phi}_i \dots \bar{\Phi}_I \bar{X}_1 \dots \bar{X}_i \dots \bar{X}_L$.

Исходные ситуации отобранных M строк (таблица 2) могут располагаться относительно (Φ_i^{z+1}) несимметрично, поэтому необходима корректировка на величину смещения $\Omega = f(\bar{\Phi}_i, \bar{\Phi}_i^{z+1}, \bar{x}_i)$.

Используем одну из возможных формул определения величины смещения:

$$\Omega = \sum_{i=1}^I \bar{x}_i (\Phi_i^{z+1} - \bar{\Phi}_i), \quad (11)$$

где \bar{x}_i – доля влияния фактора (долгосрочный норматив).

В отдельные периоды значения ПВТО существенно отличаются от прогнозируемых из-за влияния условий, которые не учитываются моделью, а также неточностей самого оперативного учета. В этих случаях в массиве опыта еще нет строк опыта работы в изменившейся эксплуатационной обстановке, а модель может «обучиться» лишь по нескольким строкам опыта последних периодов ($p = 1, 2, \dots, p, \dots, P$). Для таких случаев предлагается дополнительно использовать коэффициент тенденции γ^p , который рассчитывается следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{если } \frac{X^p}{\bar{X}^p} \in [1+\Delta], \text{ то } \gamma^p = \frac{X^p}{\bar{X}^p}; \\ \text{если } \frac{X}{\bar{X}} \in [1+\Delta], \text{ то } \gamma^p = 1 + \Delta; \\ \text{если } \frac{X}{\bar{X}} \in [1 - \Delta], \text{ то } \gamma^p = 1 - \Delta. \end{array} \right. \quad (12)$$

Расчетное значение

$$\gamma^{z+1} = \sum \beta^p \gamma^p, \quad (13)$$

где X^p, \bar{X}^p – соответственно отчетное и прогнозное значение ПВТО за период P ; Δ – заданная допустимая погрешность прогноза; β^p – константа, определяющая вес периода P в списке последних p расчетов.

Значение P определяется путем анализа результатов прогнозирования при различных значениях p . В большинстве проведенных опытов наилучшая достоверность прогноза достигалась при $P = 4$ [5]. Средняя погрешность за период при том или ином значении p

$$\bar{\Delta}_p = \frac{\sum_{i=1}^m |\bar{X}^j - X^j|}{m \bar{X}_m}, \quad (14)$$

где m – число разрешенных строк массива опыта Z ; \bar{X}_m – среднее значение показателя за P периодов;

В базе знаний ИСУПП сохраняется скорректированное значение составляющей ПВТО, зависящей только от основных факторов. Это дает возможность точнее определить степень влияния дополнительных факторов. К дополнительным показателям могут быть отнесены, например, погодные условия, экономическая ситуация у грузовладельцев, дефицит или профицит перевозочных ресурсов у перевозчика и др.

Значения дополнительных факторов ω и количественные значения их влияния σ должны быть определены для всех имеющихся в массиве опыта эксплуатационных обстановок. Тогда значение ПВТО с учетом основных и дополнительных факторов

$$\bar{X}^{z+1} = \bar{X}_\Phi^{z+1} \omega^z \sigma^z. \quad (15)$$

С учетом коэффициента тенденции

$$\bar{X}_\gamma^{z+1} = \bar{X}^{z+1} \gamma^{z+1}. \quad (16)$$

Этап самообучения позволяет корректировать рассчитываемые величины после получения отчетных дан-

ных. Расхождение возникает из-за неточностей в оперативном учете и диспетчерской информации.

Сначала находим отклонение отчетной ПВТО от прогнозного значения без учета коэффициента тенденции:

$$\Delta^{z+1} = X^{z+1} - \bar{X}^{z+1}. \quad (17)$$

Если эта разность превышает установленный диапазон (формула (9)), то самообучение прерывается и строке опыта присваивается запрещающий признак. В дальнейшем такие строки в прогнозировании не участвуют. Если отклонение не превышает допуска, то расчет продолжается.

В общем случае в матрице кроме отчетного значения должны формироваться столбцы скорректированного опыта, куда по прошествии каждого периода на место прогнозируемого значения ПВТО заносятся

$$\bar{X}_I^{z+1} = \bar{X}_I^{z+1} + \rho (X_I - \bar{X}_I^{z+1}), \quad (18)$$

где X_I – отчетное значение ПВТО; ρ – коэффициент корректировки, $\rho \in [0; 1,0]$.

Это значение записывается в $z+1$ -ю строку массива опыта Z .

Далее осуществляется сдвигка строк массива опыта на один шаг. При этом $z+1$ -я строка становится z -й строкой, вторая – первой, а первая пересылается в архив. Строка $z+1$ освобождается для ввода и формирования новой предплановой ситуации. Таким образом, в массиве опыта остаются строки последних z расчетов.

Оптимальное значение коэффициента ρ предлагается рассчитывать периодически. Сначала определяется среднее отклонение отчетных показателей от прогнозируемых за P последних периодов:

$$\Delta_I = \sum_{j=z-p}^z \frac{\bar{X}_I^j - X_I^j}{P}. \quad (19)$$

Если $\Delta_I > \Delta$, то долгосрочные нормативы пересчитывают. Корректируют нормативы \bar{x}_i на основании последних z строк опыта. Значение ρ отыскивается пошаговым перебором.

Для программной реализации предложенного метода прогнозирования ПВТО предлагается использовать математический аппарат теории искусственных нейронных сетей (ИНС) (это математические модели, а также их программные или аппаратные реализации, построенные по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей – сетей нервных клеток живого организма [6]).

При разработке архитектуры ИНС в ИСУПП за основу была взята простейшая модель однослойной ИНС (рисунок 1).

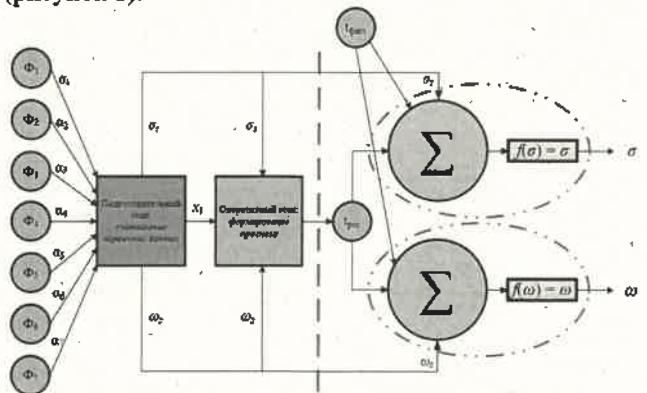


Рисунок 1 – Развернутая схема ИНС в ИСУПП

Ее «телом» является совокупность из N нейронов и последовательно расположенных сумматоров со встроенными блоками функций активации. Таким образом при входном массиве данных x_1-x_n на выходе получаем искомый массив y_1-y_m с промежуточной корректировкой весовых параметров.

Предлагаемой архитектуре ИНС свойственны некоторые особенности.

1 ИНС условно разделена на два сектора (показано красной линией): нейронные блоки характеризуют процесс самообучения системы, а два параллельно расположенных нейрона (выделены штрихпунктирными эллипсами) реализуют корректировку значений дополнительных факторов (ω , σ) в зависимости от входных параметров сектора. При этом, если прогнозное время отпуска состава ($t_{\text{прог}}$) передается из левого сектора, то фактическое время отпуска ($t_{\text{факт}}$) поступает из действующих АСУС.

2 В качестве функции активации (желтый блок) выбрана зависимость тождественного отображения вида $f(x) = x$. Свойства данной функции наиболее подходящие для проведения корректировок исследуемых показателей. На момент проведения исследования альтернативной функции активации обнаружено не было, однако ее существование не исключено.

3 В отличие от простейших моделей ИНС сумматоры в разработанной схеме представляют собой многофункциональный блок, основной задачей которого является проведение необходимых расчетов для исправления и корректировки значений влияния дополнительных факторов.

Рассмотрим некоторые моменты программной реализации. Блок-схемы технологических этапов представлены на рисунках 2–4.

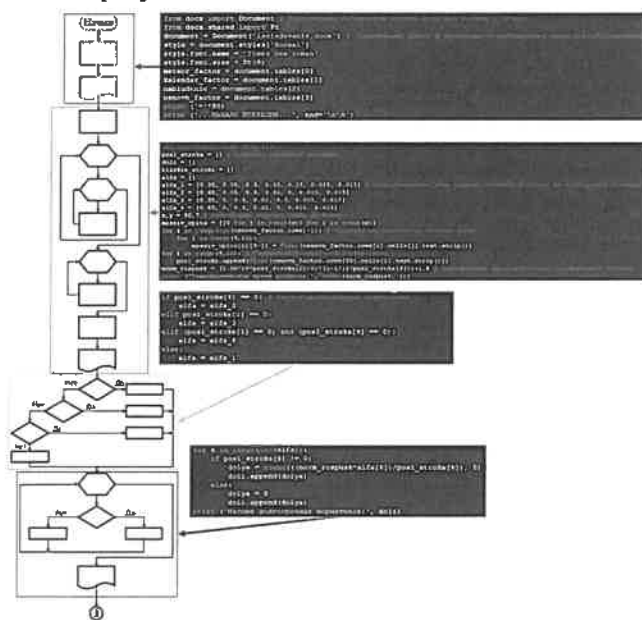


Рисунок 2 – Блок-схема подготовительного этапа программы

Перед подготовительным этапом к программе подключаются необходимые для работы с интерфейсной платформой библиотеки. В нашем случае это библиотека Python-docx для работы с текстовыми документами с расширениями docx и doc. Происходит настройка параметров обработки данных в пользовательской среде и интеграция внешних носителей.

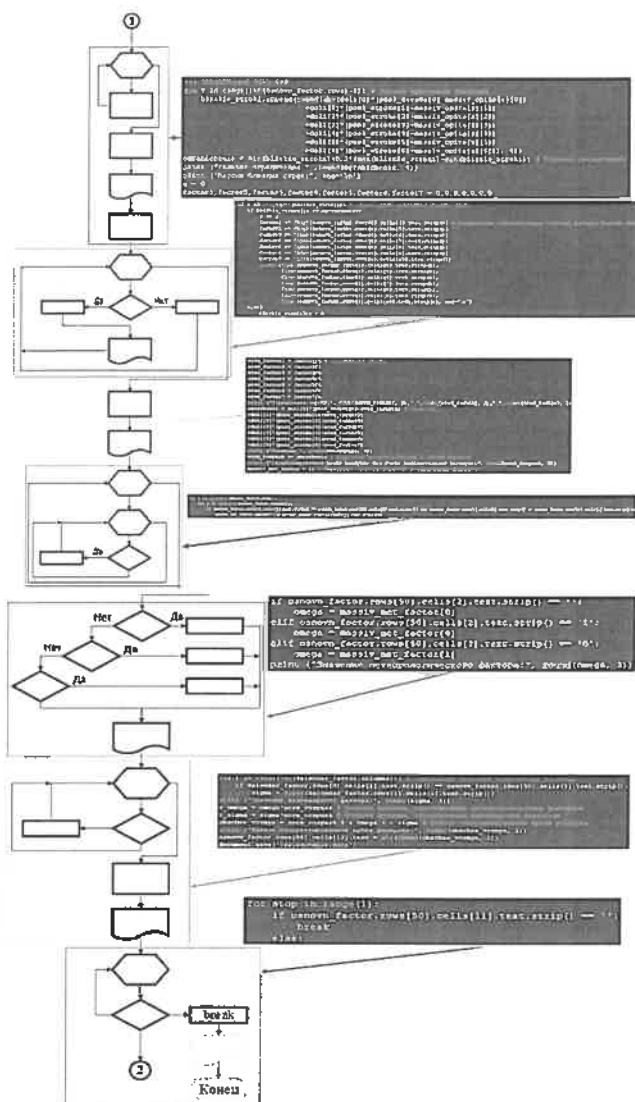


Рисунок 3 – Блок-схема оперативного этапа программы

В подготовительном этапе создается цифровая копия массива опыта. Теперь нет необходимости обращаться к конкретной табличной ячейке на внешнем кластере, что значительно упрощает работу с данными.

На оперативном этапе все логические операции реализуются согласно методике, описанной выше.

Особое внимание стоит уделить «Стоп-блоку» («break»). В случае, если еще нет информации о фактическом времени отпуска состава, т. е. строится только прогноз, «Стоп-блок» игнорирует этап самообучения и после корректировки прогнозного времени отпуска алгоритм прерывается. В случае, когда фактическое время известно, разделитель подключает ИНС (последнюю часть кода) и происходит корректировка значений дополнительных факторов. На заключительном этапе реализуется дублирование таблиц наблюдений с их последующим обновлением и, согласно методике, происходит сдвиг массива опыта на $z+1$ значение. Далее итерация закончена, в массиве опыта снова z строк опыта, программа готова к следующей итерации.

Таким образом, на основании ИНС, была спроектирована полностью автоматизированная программная система считывания, анализа, обработки и вывода данных о расписании составов с сортировочной горки.

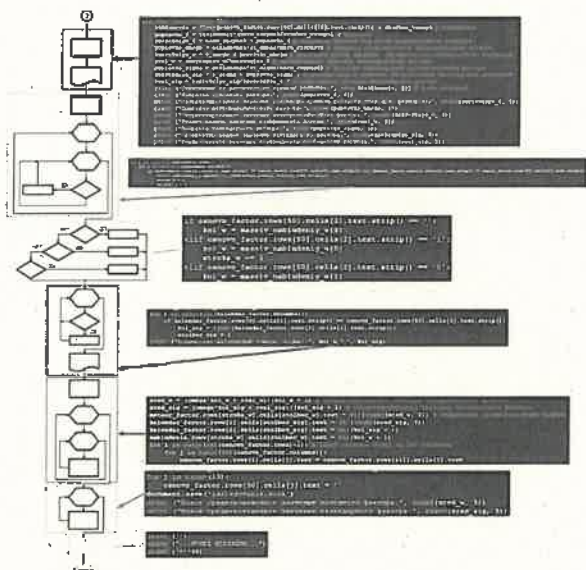


Рисунок 4 – Блок-схема этапа самообучения программы

С использованием предложенного метода выполнен расчет прогнозных значений ПВТО роспуска составов с сортировочной горки на станции Витебск за период с 21.03.2022/08:00 по 22.03.2022/08:00. Исходные данные взяты из телеграмм-натурных и натурно-сортировочных листов, а также графика исполненной работы станции.

Фрагмент результатов прогнозирования ПВТО в ИСУПП приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Фрагмент результатов прогнозирования ПВТО в ИСУПП

Номер поезда	Фактическое время роспуска состава	Отклонение от фактической продолжительности роспуска составов, %			
		%		мин	
		Нормированное время	Прогноз	Нормированное время	Прогноз
2108	11	+30,9	-16,3	+3,4	-1,8
3603	5	+128	-58	+9,4	-2,9
2223	20	-28	-4,5	-5,6	-0,9
3803	10	+44	+11	+4,4	+1,1
3805	33	-56	+2,7	-18,6	+0,9
3005	18	-18	-5	-3,6	-0,9
2225	50	-71,2	+2	-35,6	+1,0
3052	5	+128	-16	+9,4	-0,8

Получено 05.06.2022

A. A. Erofeev, S. Ju. Chapskiy. Forecasting the duration of technological operations in the intelligent system for managing the transportation process.

A description is given of the methodology for predicting the duration of technological operations (DTO) in an intelligent system for managing the transportation process, which provides for three stages of calculation: preparatory, operational and self-learning. For forecasting, it is proposed to form an array of experience, which includes many basic and additional factors that affect the PHE in the established operational environment. The procedures for evaluating the influence of factors on the DTO and adjusting these values in the process of self-learning are described. For the software implementation of the proposed method of forecasting the DTO, it is proposed to use the mathematical apparatus of the theory of artificial neural networks. A neural network has been built and its software implementation has been completed.

Окончание таблицы 3

Номер поезда	Фактическое время роспуска состава	Отклонение от фактической продолжительности роспуска составов, %			
		%		мин	
		Нормированное время	Прогноз	Нормированное время	Прогноз
3601	30	-52	-7,3	-15,6	-2,2
3801	38	-62,1	+11,1	-23,6	+4,2
3802	8	+80	-3,8	+6,4	-0,3
3805	14	+2,9	+1,4	+0,4	+0,2
3812	15	-4	-7,3	-0,6	-1,1
3803	15	-4	+4,6	-0,6	+0,7

В результате моделирования установлено, что использование ИНС в ИСУПП повышает точность планирования до 25 % по сравнению с существующими методами, а отклонения свыше 10 % процентов от фактических значений наблюдаются менее чем в 14 % случаев.

Предложенный модуль прогнозирования ПВТО может быть использован для решения различных типов ЭЗ как в рамках ИСУПП, так и в других информационно-управляющих системах на железнодорожном транспорте.

Список литературы

- 1 **Ерофеев, А. А.** Разработка интеллектуальной системы управления перевозочным процессом на Белорусской железной дороге / А. А. Ерофеев, О. А. Терещенко, В. В. Лавицкий // Железнодорожный транспорт. – 2020. – № 6. – С. 74–77.
- 2 **Ерофеев, А. А.** Автоматизированная система УСОГДП / А. А. Ерофеев, Е. А. Федоров, М. В. Федорцов // Железнодорожный транспорт. – 2020. – № 9. – С. 22–27.
- 3 **Ерофеев, А. А.** Планирование состава образования в системе интеллектуального управления перевозочным процессом / А. А. Ерофеев, Е. А. Федоров // Сборник научных трудов Днепрпетровского национального университета железнодорожного транспорта им. акад. В. Лазаряна. – 2016. – № 12. – С. 16–24.
- 4 **Ерофеев, А. А.** Интеллектуальная система сменноточного планирования поездной работы / А. А. Ерофеев, П. М. Дулуб // Железнодорожный транспорт. – 2020. – № 10. – С. 19–23.
- 5 **Тулунов, Л. П.** Автоматизированные системы управления перевозочными процессом на железнодорожном транспорте : учеб. пособие для вузов / Л. П. Тулунов, Е. М. Жуковский, А. М. Гусятинер. – М. : Транспорт, 1991. – 208 с.
- 6 **Хайкин, С.** Нейронные сети: полный курс : пер с англ. / С. Хайкин. – 2-е изд. – М. : Вильямс, 2006. – 1104 с.

УДК 656.2:347.763

А. А. ЕРОФЕЕВ, кандидат технических наук, В. Г. КУЗНЕЦОВ, кандидат технических наук, И. М. ЛИТВИНОВА, М. А. КИЛОЧИЦКАЯ, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

СИСТЕМНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЗАКОНОДАТЕЛЬНОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Железнодорожный транспорт является важной сферой экономики страны и обеспечивает запросы в перевозках множества потребителей. Рынок транспортных услуг на железнодорожном транспорте Республики Беларусь является развивающимся, происходит активное обновление норм законодательства. Рассмотрены подходы к актуализации законодательства на железнодорожном транспорте как необходимое средство создания адекватной современному социально-экономическому состоянию нормативной среды для функционирования организаций железнодорожного транспорта и реализации необходимого объема и качества услуг (работ). Развитие законодательства увязано с применением системных принципов. Сформулированы требования к развитию законодательства на железнодорожном транспорте исходя из системного и комплексного подхода к правому регулированию общественных отношений в транспортной сфере. Представлен анализ совокупности правовых актов, регулирующих отношения при функционировании железнодорожного транспорта. Сформулирована объектно-предметная среда и дана ее характеристика, определены целевые результаты функционирования железнодорожного транспорта и деятельности участников перевозочного процесса. Развитие положений закона «О железнодорожном транспорте» рассмотрено через соблюдение системы принципов и требований. Дана характеристика соблюдения требований нормативно-правового регулирования на железнодорожном транспорте и направления совершенствования законодательства.

Одной из составных частей государственной политики является обеспечение соответствия развития национальной транспортной системы и экономики страны потребностям граждан, хозяйствующих субъектов [1, 2]. Железнодорожный транспорт как часть единой транспортной системы Республики Беларусь (РБ) должен обеспечить возникающий спрос на перевозки грузов и пассажиров, требуемый уровень безопасности и качества перевозок, доступ и равные права всех участников перевозочного процесса на рынке транспортных услуг, эффективность организации перевозочного процесса [3–5].

Использование системных подходов к развитию железнодорожного транспорта определяется взаимозависимостью отраслей экономики РБ. Развитие железнодорожного транспорта в значительной степени определяет единство, целостность и безопасность экономики РБ [1]. Эффективная работа железнодорожного транспорта способствует развитию внутреннего и внешнего товарных рынков [3]. В то же время работа железнодорожного транспорта зависит от состояния экономики, инвестиционной политики в транспортной сфере, налоговой и таможенной политики, интеграционной политики в рамках международных договоров и соглашений [2, 5]. Поэтому транспортная политика рассматривается как важная часть общегосударственной стратегии и железнодорожный транспорт является сферой постоянного государственного контроля и управления [1–6].

Важной частью транспортной политики государства является нормативно-правовое поле, которое должно быть актуально запросам государства, экономики, общества [7]. Развитие нормативно-правового поля в области железнодорожного транспорта осуществляется непрерывно на основе принципов системного подхода. Нормативно-правовое поле, регулирующее отношения, связанные с осуществлением транспортной деятельности и оказанием услуг при перевозке грузов и пассажиров, включает совокупность положений, установленных:

– в кодексах и законах РБ, связанных с оказанием услуг физическим и юридическим лицам [7–15];

– актах Президента Республики Беларусь по вопросам транспортной деятельности;

– постановлениях Правительства Республики Беларусь, издаваемых на основании, во исполнение и в соответствии законам, актам Президента Республики Беларусь по вопросам транспортной деятельности;

– нормативных правовых актов (НПА) Министерства транспорта и коммуникаций (МТК), других государственных органов Республики Беларусь (в пределах их компетенции), издаваемых в случаях и пределах, предусмотренных законами, а также актами Президента Республики Беларусь и постановлениями Правительства Республики Беларусь;

– международных договорах и соглашениях;

– отраслевых технических нормативных правовых актах (ТНПА), определяющих положения, правила, регламенты и иные документы, связанные с оказанием услуг (рисунок 1).

Железнодорожный транспорт является составной частью социально-экономической сферы функционирования государства, и НПА должны устанавливать нормы, регулирующие транспортное обеспечение потребностей общества, его граждан, хозяйствующих субъектов в реализации услуг перевозки пассажиров и доставки груза [14].

В РБ сформировано и успешно реализуется законодательство, которое регулирует основы транспортной деятельности на железнодорожном транспорте и всех сфер, связанных с ним: государственное регулирование, права и обязанности организаций железнодорожного транспорта, экономические отношения, транспортные услуги, тарифное регулирование, безопасность и т. п. [12–16].

Исходя из существенных изменений внутренних и внешних условий транспортной деятельности, осуществляется корректировка норм права, которые позволяют адаптировать транспортную деятельность к потребностям экономики и населения. Совершенствование нормативно-правового поля необходимо осуществлять системно с опережающим подходом.

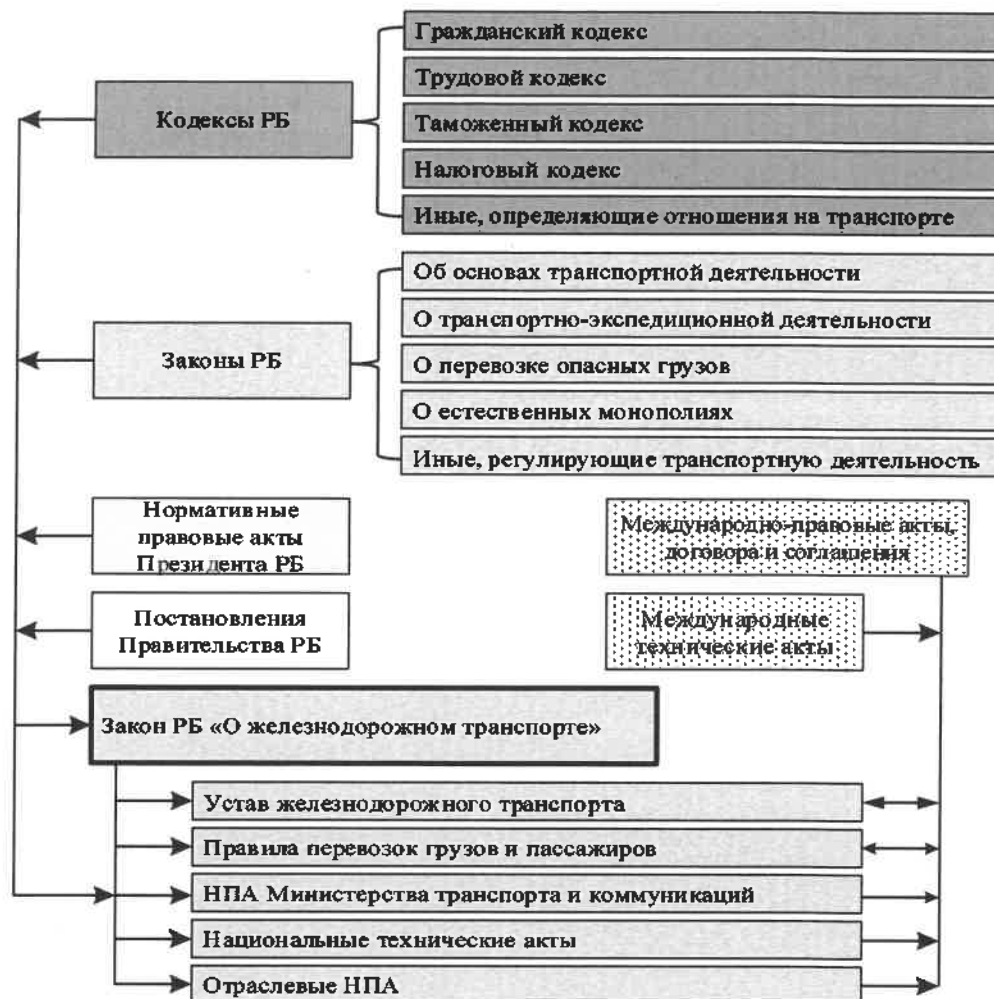


Рисунок 1 – Нормативно-правовое поле формирования регулирующей среды в области транспортной деятельности на железнодорожном транспорте

Развитие законодательного регулирования транспортной деятельности организаций железнодорожного транспорта РБ включает в себя:

- совершенствование системы государственного регулирования и управления;
- регламентацию и актуализацию правовых, экономических и иных отношений между субъектами хозяйствования при реализации их транспортной деятельности, а также связанное с ней оказание услуг (работ);
- создание необходимых условий предоставления транспортных услуг, способствующих перевозкам грузов и поездкам пассажиров;
- создание условий развития инфраструктуры, обновления подвижного состава на железнодорожном транспорте общего и необщего пользования для обеспечения необходимого транспортного потенциала.

Базисом развития законодательства на железнодорожном транспорте является идентификация и обновление объектно-предметной области оказания транспортных услуг и осуществления транспортной деятельности, соответствующей социально-экономическому состоянию и тенденциям изменения товарно-транспортного рынка [18–20].

Субъектами отношений выступают прежде всего организации железнодорожного транспорта, обеспечивающие перевозку (перевозчики, операторы инфраструктуры, операторы подвижного состава, экспедиторы и

иные производители услуг), а также пользователи услуг (грузоотправитель, грузополучатель, пассажир и иные лица) [21]. Субъектами отношений на железнодорожном транспорте также выступают организации железнодорожного транспорта, осуществляющие работы для обеспечения транспортной деятельности, связанные с ремонтом, обслуживанием, содержанием и иными работами. Рынок транспортных услуг на железнодорожном транспорте развивается за счет расширения конкурентной сферы: грузовых и пассажирских перевозок, операторской деятельности подвижным составом, экспедирования, транспортно-логистических операций и т. п. [5, 21]. В законодательстве требуется постоянное уточнение целей интересов производителей и получателей услуг, организаций железнодорожного транспорта, а также их соответствие общественным интересам, представленных в программах социально-экономического развития РБ [3] и транспортного комплекса [5]. Например, в соответствии с Целями устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2030 года [1] достижение цели «Создание стойкой инфраструктуры, содействие всеохватной и устойчивой индустриализации и инновациям» предлагается решать посредством задач: 1) развивать качественную, надежную, устойчивую и стойкую инфраструктуру (в том числе трансграничную); 2) активизировать научные исследования, наращивать технологический потенциал промышленных секторов, стиму-

ливать инновационную деятельность. Решение этих задач трансформируется в задачи и мероприятия государственной программы [4, 5]. Задача сформулирована как комплексное развитие железнодорожного транспорта, включая развитие инфраструктуры, обновление железнодорожного подвижного состава, проведение технических и технологических мероприятий на железнодорожном транспорте.

Целевые результаты железнодорожного транспорта оцениваются по достаточно большому спектру индикаторов: развитие перевозочного потенциала; повышение транзитной привлекательности; сбалансированное развитие железнодорожного транспорта и других видов транспорта при перевозках грузов и пассажиров; развитие цифровых транспортных коридоров (в рамках II и IX международных транспортных коридоров), развитие грузовых перевозок, в том числе за счет пропуска ускоренных контейнерных поездов; комплексное развитие транспортной инфраструктуры, электрификация основных участков железной дороги; развитие интеллектуальных транспортных систем на базе современных цифровых платформ, расширение использования цифровых технологий при перевозках грузов и пассажиров; сокращение потребления нефтепродуктов на тягу поездов и снижению экологической нагрузки на окружающую среду; удовлетворение потребностей населения и экономики в транспортных услугах; доступность, высокое качество и безопасность услуг железнодорожного транспорта; стабильность функционирования транспортной инфраструктуры и надежность работы транспортных средств; решение задач укрепления кадрового потенциала участников перевозочного процесса [5, 6].

Объектами отношений при реализации транспортной деятельности (осуществлении услуг и работ) выступают прежде всего грузы и пассажиры, а также подвижной состав, объекты железнодорожной инфраструктуры и т. п. Объекты отношений характеризуются расширением информации, определяющей свойства объекта, условия его перевозки, применения электронных баз данных, геоинформационных технологий контроля перемещения груза на транспорте и т. п. [18–20].

Предметом отношений между участниками перевозочного процесса выступает процесс перевозок как совокупность организационных, технических и технологических операций, осуществляемых на всех этапах перевозки груза и пассажиров железнодорожным транспортом. Основными тенденциями развития отношений участников перевозочного процесса является унификация договоров на оказание услуг перевозки, детализация условий и правил перевозки, переход к электронной форме договоров перевозки, консолидации деятельности множества участников перевозочной деятельности на всём маршруте перевозки и т. п.

Отношения между участниками перевозочного процесса, устанавливающие права и ответственность каждого при оказании или получении услуг (работ) железнодорожного транспорта, должны соответствовать требованиям нормативно-правового поля и существующей практики транспортной деятельности [21, 22].

Развитие системы правового регулирования в области железнодорожного транспорта должно осуществляться на основе использования следующих принципов:

– сохранение целостности и обеспечение устойчивости системы управления перевозочным процессом на инфраструктуре железнодорожного транспорта общего пользования;

– обеспечение единой технологии взаимодействия железнодорожного транспорта общего и необщего пользования;

– обеспечение единой технологии взаимодействия всех участников перевозочного процесса;

– адекватное объему перевозок и требованиям к качеству транспортных услуг развитие инфраструктуры железнодорожного транспорта и обновление подвижного состава;

– развитие общественно выгодной конкуренции и формирование рынка транспортных услуг железнодорожного транспорта;

– совершенствование транспортной тарифной политики в соответствии с международными и национальными условиями экономического развития;

– вовлечение национальных транспортных организаций в международные транспортно-логистические цепи передвижения товаров.

Для выполнения нормативно-правовых регулирующих функций закон РБ «О железнодорожном транспорте» должен отвечать системным требованиям [17, 18, 21].

Требование гармонизации положений закона «О железнодорожном транспорте» с нормами окружающего нормативно-правового поля. Основные требования норм права в области железнодорожного транспорта определены в законе РБ «О железнодорожном транспорте», который регулирует деятельность при перевозке грузов и пассажиров [14]. Закон принимается на основе и во исполнение Конституции и конституционных законов и составляет текущее законодательство.

Гармонизация положений закона РБ «О железнодорожном транспорте» обеспечивается установлением норм права, регулирующих основные правоотношения при осуществлении транспортной деятельности путем:

– обеспечения соответствия норм, установленных в гражданском, налоговом, таможенном и иных кодексах РБ [8–11];

– обеспечения соответствия норм, установленных в законах и иных НПА, регулирующих отдельные аспекты функционирования железнодорожного транспорта [12, 13];

– имплементации норм международных соглашений, договоров, правовых актов, способствующих организации перевозок в международном железнодорожном сообщении;

– определения требований к формированию необходимых НПА, определяющих существенные правила и условия осуществления перевозок и функционирования организаций железнодорожного транспорта: правил перевозок грузов и пассажиров, доступа к услугам инфраструктуры, правил оказания услуг инфраструктуры, положений о дисциплине работников, правил технической эксплуатации железнодорожного транспорта, тарифной политики на оказание услуг железнодорожного транспорта, правил безопасности движения и эксплуатации и иных.

Критерием оценки реализации требования гармонизации является взаимосвязь положений в статьях закона

«О железнодорожном транспорте» с нормами права законодательного поля.

В законе «О железнодорожном транспорте» содержатся ссылки на нормы, установленные в иных законодательных актах, как прямой отсылки (22 % статей закона), так и косвенной (42 % статей закона). Кроме того, в законе представлены отсылки на положения, которые регулируются иными отраслевыми НПА: прямые отсылки имеются в 25 % статей закона, косвенные – в 37 %.

Требование комплексного рассмотрения отношений при реализации транспортной деятельности на железнодорожном транспорте. Закон «О железнодорожном транспорте» определяет наиболее важные аспекты общественных отношений: экономические, социальные, безопасности, трудовые и другие.

Комплексность положений закона «О железнодорожном транспорте» проявляется через всестороннее определение норм права по основным вопросам правоотношений:

- видам железнодорожного транспорта: общего и необщего пользования, технологического железнодорожного транспорта организаций;
- видам сообщений: грузовым и пассажирским, международным и внутриреспубликанским;
- правам и обязанностям основных участников перевозочного процесса;
- методам и способам государственного регулирования и управления;
- системе экономического регулирования: инвестирования, тарифной политики, доходов и расходов, льготирования;
- обеспечению перевозочного процесса: строительства, модернизации, развития, эксплуатации, безопасности;
- иным аспектам.

Критерием обеспечения требования комплексного регулирования отношений при организации перевозки является наличие норм права, устанавливающих всю совокупность свойств, характеристик, квалификационных признаков и иных аспектов, идентифицирующих объектно-предметную сущность положений закона «О железнодорожном транспорте». В пяти статьях закона присутствуют признаки комплексного определения основных положений функционирования железнодорожного транспорта. Многие положения закона требуют системного изложения в соответствии с многообразием видов услуг, работ, процессов перевозки, отношений участников и иных аспектов функционирования железнодорожного транспорта.

Требование практической направленности норм права. Закон «О железнодорожном транспорте» должен быть адаптивен практической деятельности, иначе установленные в нем правила могут неправильно (неверно) применяться, а значит, на практике государство не добивается тех целей, которые оно ставило, принимая закон, и, соответственно, государство утрачивает регулируемую функцию в тех общественных отношениях, которым посвящены блоки (главы) закона.

Практическая направленность в законе «О железнодорожном транспорте» характеризуется правоприменением по основным процессам функционирования железнодорожного транспорта:

– распределение полномочий между органами государственного управления по сферам транспортной деятельности;

– формирование системы договоров на перевозку, тарифов и расчетов за оказание транспортных услуг;

– использование земли, имущества и инфраструктуры;

– оперативное управление перевозочным процессом;

– обеспечение безопасности перевозочного процесса, охраны грузов и объектов, организация работы по ликвидации опасных ситуаций и т. п.;

– требование к организации трудовой деятельности и иные аспекты.

Критерием реализации требования практической направленности является установление положений и норм, обеспечивающих их применение при функционировании железнодорожного транспорта и отношений между участниками перевозочного процесса. В законе «О железнодорожном транспорте» присутствуют как прямые нормы их применения (в 80 % статей), так и опосредованного применения, через указание на иные НПА, развивающие положения закона с требуемым уровнем детализации положений (в 75 % статей). При этом 75 % статей содержат положения и нормы как прямого применения, так и опосредованного. В законе необходимо оптимизировать соотношение прямого и опосредованного применения с учетом развития нормативного массива, регулирующего транспортную деятельность.

Требование достижения целевых показателей деятельности участников перевозочного процесса. Нормативные положения, установленные в законе [14], должны отражать основные интересы субъектов законодательных отношений:

– доступность транспортных услуг для потребителей;

– эффективность деятельности организаций железнодорожного транспорта;

– безопасность перевозочного процесса.

Доступность услуг для потребителей выражается в обеспечении:

– предоставления услуг, установленных и/или заявленных организациями железнодорожного транспорта;

– доступа перевозчика к инфраструктуре железнодорожного транспорта;

– потребных пропускных способностей объектов железнодорожной инфраструктуры;

– вагонами для перевозки грузов и поездов пассажиров;

– тяговым подвижным составом;

– качества предоставляемых услуг в соответствии с НПА и установившейся практикой.

Эффективность деятельности организаций железнодорожного транспорта выражается в обеспечении:

– эффективного использования инфраструктуры, подвижного состава и иных ресурсов организаций железнодорожного транспорта, в том числе трудовых;

– приемлемой тарифной, налоговой и таможенной политики на железнодорожном транспорте в соответствии с национальным законодательством и международными соглашениями;

– привлекательности инвестиций на развитие железнодорожного транспорта, способствующих предостав-

ленно новых услуг гражданам, хозяйствующим субъектам;

– необходимого уровня рентабельности на основе тарифной политики, оптимизации расходов участников перевозочного процесса;

– повышения качества услуг перевозки;

– расширения транзитных и международных перевозок.

Безопасность перевозочного процесса на железнодорожном транспорте выражается в обеспечении:

– безопасности поездной работы на объектах инфраструктуры (железнодорожных участках, станциях);

– безопасности маневровой работы на железнодорожных станциях, местах общего и необщего пользования;

– безопасности использования объектов инфраструктуры и их элементов, подвижного состава на их жизненном цикле;

– охраны труда;

– охраны окружающей среды;

– поддержания мобилизационной готовности железнодорожного транспорта.

Оценка обеспечения основных требований эффективности, безопасности и доступа в статьях закона «О железнодорожном транспорте» [14] показывает, что уровень практической направленности высокий: 93 % статей (из 40 статей) имеют целевое практическое применение для субъектов правоотношений на железнодорожном транспорте РБ. При этом высоким является уровень целеполагания в статьях закона по основным обобщенным критериям: эффективности – 0,575, безопасности – 0,475, доступности – 0,425 (рисунок 2). В части статей установлены нормы права по нескольким обобщенным критериям: в 6 статьях по трем критериям, в 11 статьях – по двум критериям.

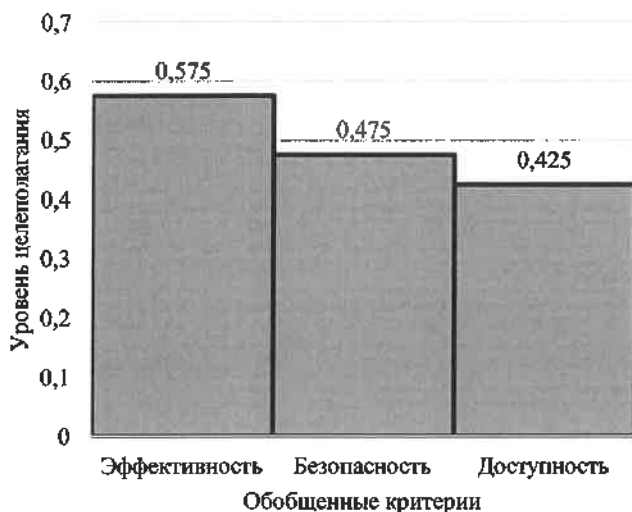


Рисунок 2 – Уровень целевой направленности статей закона РБ «О железнодорожном транспорте»

Требование системного определения норм права, формирующих единые принципы перевозочного процесса на железнодорожном транспорте. Закон «О железнодорожном транспорте» должен устанавливать положения, определяющие реализацию перевозочного процесса на объектах инфраструктуры железнодорожного транспорта, выполнение правил перевозок грузов и пассажиров, технологии оказания услуг железнодорож-

ного транспорта всеми участниками перевозочного процесса.

В НПА необходимо совершенствовать организационно-технические и правовые отношения по основным транспортным процессам единой технологии перевозочного процесса (ЕТПП):

– организацию поездной работы на участках инфраструктуры;

– организацию маневровой работы, расформирования и формирования поездов на железнодорожных станциях;

– взаимодействие оператора инфраструктуры и перевозчика при организации вагонопотоков;

– взаимодействие организаций железнодорожного транспорта при производстве ремонтно-строительных работ на объектах инфраструктуры;

– взаимодействие оператора инфраструктуры с перевозчиком в случае перерыва в движении поездов в результате нарушения безопасности движения на участках инфраструктуры;

– организацию грузовой и местной работы на объектах инфраструктуры.

Перечисленные процессы, реализующие ЕТПП, требуют системной корректировки в отношениях между всеми участниками перевозочного процесса.

Анализ требований развития законодательного поля показывает, что закон РБ «О железнодорожном транспорте» является важным системным НПА в законодательстве РБ, в нем обновляются, вводятся новые и претерпевают качественное изменение существующие нормы права в соответствии с развитием транспортной отрасли, осуществляется систематизация транспортного законодательства в соответствии с международными и национальными актами.

Государством и участниками перевозочного процесса реализуются меры, позволившие повысить качество норм права и их применение на практике за счет: проведения мониторинга НПА, анализа согласованности норм законодательства и программ развития транспорта, внедрения в НПА требований системности и комплексности правового регулирования отношений при оказании транспортных услуг.

Социально-экономические изменения, произошедшие в РБ и государствах-партнерах по транспортному рынку за последнее десятилетие, диктуют необходимость систематизации основных положений норм права при организации перевозок железнодорожным транспортом, акцентирования внимания на экономических и организационных аспектах деятельности участников перевозочного процесса как в монопольном, так и в конкурентном сегментах перевозки, формирования адекватного происходящим на транспорте процессам правового регулирования, повышения качества системного и комплексного подходов к совершенствованию законодательства.

Список литературы

- 1 Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года [Электронный ресурс] : одобр. на заседании Президиума Совета Министров Респ. Беларусь от 2 мая 2017 г., протокол № 10 / М-во экономики Респ. Беларусь. – Режим доступа : <https://economy.gov.by/uploads/files/NSUR2030/Natsionalnaja-strategija-ustojchivogo-sotsialno-ekonomicheskogo-razvitija-Res->

pub-liki-Belarus-na-period-do-2030-goda.pdf. – Дата доступа : 28.03.2022.

2 Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2035 года [Электронный ресурс] : протокол заседания Президиума Совета Министров Респ. Беларусь от 4 февраля 2020 г. № 3 // М-во экономики Респ. Беларусь. – Режим доступа : <https://economy.gov.by/uploads/files/NSUR/NSUR-2035.pdf>. – Дата доступа : 28.03.2022.

3 Стратегия инновационного развития транспортного комплекса Республики Беларусь до 2030 года [Электронный ресурс] : приказ М-ва трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь от 25.02.2015 г., № 57-Ц // Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=3871&pr=C21701024>. – Дата доступа : 28.03.2022.

4 Программа социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы [Электронный ресурс] : Указ Президента Респ. Беларусь, 29 июля 2021 г., № 292 // Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=3871&pr=P32100292>. – Дата доступа : 28.03.2022.

5 Государственная программа «Транспортный комплекс» на 2021–2025 годы [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 23 марта 2021 г., № 165 // Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа : https://pravo.by/upload/docs/op/C22100165_1616792400.pdf. – Дата доступа : 29.03.2022.

6 Концепция информационной безопасности Республики Беларусь [Электронный ресурс] : постановление Совета Безопасности Респ. Беларусь, 18 марта 2019 г., №1 // Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа : https://pravo.by/upload/docs/op/P219s0001_1553029200.pdf. – Дата доступа : 29.03.2022.

7 Конституция Республики Беларусь 1994 года : с изм. и доп., принятыми на респ. референдумах 24 нояб. 1996 г., 17 окт. 2004 г. и 27 февр. 2022 г. / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь, Минск 2022. – 60 с.

8 Гражданский кодекс Республики Беларусь [Электронный ресурс] : 07 дек. 1998 г., № 218-3 : принят Палатой представителей 28 окт. 1998 г. : одобр. Советом Респ. 19 нояб. 1998 г. : в ред. Закона Респ. Беларусь от 31.12.2021 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Респ. Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2022.

9 Налоговый кодекс Республики Беларусь [Электронный ресурс] : 29 дек. 2009 г., № 71-3. : принят Палатой представителей 11 дек. 2009 г. : одобр. Советом Респ. 18 дек. 2009 г. : в ред. Закона Респ. Беларусь от 31.12.2021 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Респ. Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2022.

10 Трудовой Кодекс Республики Беларусь [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь, 26 июля 1999 г., № 296-3 : принят Палатой представителей 8 июня 1999 г. : одобр. Советом Респ. 30 июня 1999 г. ; в ред. Закона Респ. Беларусь от 28.05.2021 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Респ. Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2022.

Получено 04.05.2022

A. A. Erofeev, V. G. Kuznetsov, I. M. Litvinova, M. A. Kilochitskaya. System requirements for the legislative regulation of railway transport.

Railway transport is an important area of the country's economy and provides transportation needs for many consumers. The market of transport services in the railway transport of the Republic of Belarus is developing, the norms of legislation are being actively updated. Approaches to updating legislation on railway transport are considered as a necessary means of creating a regulatory environment adequate to the current socio-economic state for the functioning of railway transport organizations and the implementation of the necessary volume and quality of services (works). The development of legislation is linked to the application of systemic principles. The requirements for the development of legislation on railway transport have been formulated based on a systematic and integrated approach to the legal regulation of public relations in the transport sector. The analysis of a set of legal acts regulating relations in the functioning of railway transport is presented. The object-subject environment is formulated and its characteristics are given, the target results of the functioning of the railway transport port and the activities of participants in the transportation process are determined. The development of the provisions of the law «On railway transport» is considered through compliance with the system of principles and requirements. The characteristics of compliance with the requirements of regulatory regulation in railway transport and the directions of improving legislation are given.

11 Кодекс Республики Беларусь о Земле [Электронный ресурс] : 23 июля 2008 г., № 425-3 : принят Палатой представителей 17 июня 2008 г. : одобр. Советом Респ. 28 июня 2008 г. : в ред. Закона Респ. Беларусь от 24.10.2016 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Респ. Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2022.

12 Об основах транспортной деятельности [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь, 5 мая 1998 г., № 140-3 : принят Палатой представителей 9 апр. 1998 г. : одобр. Советом Респ. 17 апр. 1998 г. : в ред. Закона Респ. Беларусь от 17.07.2020 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Респ. Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2022.

13 О транспортно-экспедиционной деятельности [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь, 13 июня 2006 г., № 124-3 : принят Палатой представителей 4 мая 2006 г. : одобр. Советом Респ. 23 мая 2006 г. ; в ред. Закона Респ. Беларусь от 9.11.2018 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Респ. Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2022.

14 О железнодорожном транспорте [Электронный ресурс] : Закон Республики Беларусь, 6 янв. 1999 г., № 237-3 : принят Палатой представителей 11 дек. 1998 г. : одобр. Советом Респ. 18 дек. 1998 г. ; в ред. Закона Респ. Беларусь от 31.12.2014 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Респ. Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2022.

15 О перевозке опасных грузов [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь, 6 июня 2001 г., № 62-3 : портал для инженеров по охране труда Беларуси. – Режим доступа : <https://ohranatruda.by/zakon-o-perevozke-opasnykh-gruzov-ot-6-iyunya-2001-g-32-z.html>. – Дата доступа : 29.03.2022.

16 О нормативных правовых актах Республики Беларусь [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 17 июля 2018 г., № 130-3 : принят Палатой представителей 27 июня 2018 г. : одобр. Советом Респ. 29 июня 2018 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Респ. Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2022.

17 Рекомендации по теоретико-методологическим основам совершенствования правовой системы Республики Беларусь. [Электронный ресурс] // Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа : <http://www.pravo.by/main.aspx?guid=11901>. – Дата доступа : 28.03.2022.

18 Егнязаров, В. А. Транспортное право / В. А. Егнязаров. – М. : Юстициформ, 2004. – 524 с.

19 Транспортное право / В. Г. Ермолаев [и др.]. – Минск : Былина, 2002. – 400 с.

20 Новиков, В. М. Транспортное право (железнодорожный транспорт) : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / В. М. Новиков. – М. : УМЦ по образованию на ж.-д. трансп., 2007. – 240 с.

21 Овечкин, А. П. Правовое регулирование предпринимательской деятельности на железнодорожном транспорте. Ч. 1 : учеб. пособие / А. П. Овечкин. – М. : Юридический институт МИИТа, 2012. – 146 с.

22 Толочко, О. Н. Международное транспортное право / О. Н. Толочко. – Гродно : ГрГУ, 2006. – 134 с.

УДК 656.212.5

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

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ БЕЗБАРЬЕРНОГО ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ ПАССАЖИРОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВОКЗАЛАХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Выполнен анализ состояния безбарьерного пространства на железнодорожных вокзалах Республики Беларусь согласно Национальному плану по реализации положений Конвенции о правах инвалидов на 2017–2025 годы. В рамках данного плана формирование безбарьерного пространства является важнейшим условием обеспечения людям с ограниченными возможностями и физически ослабленным лицам равных возможностей для участия в жизни общества.

Особенно актуально данное направление деятельности для железнодорожного транспорта, который отличается повышенной провозной способностью и является наиболее востребованным для перевозки пассажиров как в региональном, так и дальнем сообщениях. Однако железнодорожные вокзалы, перроны, а также пассажирские платформы, расположенные в междупутье, имеют сложившуюся инфраструктуру, которую не всегда можно подвергнуть реконструкции исходя из требований безопасности и ограничения площади пассажирских платформ.

Введение. В Национальном плане по реализации положений Конвенции о правах инвалидов на 2017–2025 годы, отмечено, что особое внимание необходимо уделить устранению барьеров для посещения инвалидами объектов социальной инфраструктуры. В этих целях требуется реализация мероприятий по созданию безбарьерной среды для инвалидов и людей с ограниченными возможностями при передвижении не только на строящихся жилых комплексах, объектах социальной сферы, культурно-зрелищных организаций и физкультурно-спортивных сооружений, но и при реконструкции инфраструктуры железнодорожного транспорта (вокзальных комплексов, пассажирских платформ, остановочных пунктов и т. п.).

Следует отметить, что в среде без барьеров нуждаются не только пожилые люди или граждане, имеющие инвалидность ног, но и родители с колясками, а также путешественники, имеющие при себе ручную кладь. Безбарьерная среда – это универсальная среда, которая способна сделать город комфортным и доступным для каждого.

Основная часть. В настоящее время в Республике Беларусь проживает 568 тыс. инвалидов, в т. ч. 31,7 тыс. детей-инвалидов в возрасте до 18 лет. В общей численности населения страны людей с инвалидностью около 6 %. По данным Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь, сегодня в стране проживают 25 тыс. инвалидов-колясочников, почти 25 тыс. человек с инвалидностью по зрению и другие категории, для которых объекты транспортной инфраструктуры должны быть доступны в полном объеме.

Из общего количества инвалидов мужчины – 254,5 тыс. чел. (45,1 %), женщины – 310,4 тыс. человек (54,9 %). По возрастному признаку 5,5 % инвалидов приходится на детей, 62,8 % – на лиц трудоспособного возраста и 25,0 % – на лиц пожилого возраста. 55,2 % лиц с инвалидностью проживают в городской местности, 44,8 % – в сельской.

В Республике Беларусь функционируют 146 территориальных центров социального обслуживания населения (ТЦСОН), в которых на учете состоит 47,8 тыс. одиноких и одиноко проживающих инвалидов первой и второй групп (13,5 % от общего количества инвалидов, проживающих в республике), 767,7 тыс.

одиноких и одиноко проживающих граждан пожилого возраста (37,6 % от общего количества пожилых граждан, проживающих в республике), 29,2 тыс. семей, воспитывающих детей-инвалидов в возрасте до 18 лет.

Численность инвалидов, зарегистрированных в органах по труду, занятости и социальной защите Республики Беларусь приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Численность инвалидов в Республике Беларусь

В тысячах человек

Регион	Группа инвалидности				Всего
	I	II	III	Дети-инвалиды в возрасте до 18 лет	
Брестская	13	33	25	5	76
Витебская	11	26	19	4	60
Гомельская	14	39	34	5	92
Гродненская	11	32	17	4	64
Минская	15	43	28	5	91
Могилевская	11	27	20	3	61
г. Минск	14	64	41	7	126
Республика Беларусь, всего	89	264	184	33	570

Численность инвалидов в странах СНГ (на 10 тыс. человек населения) приведена на рисунке 1.

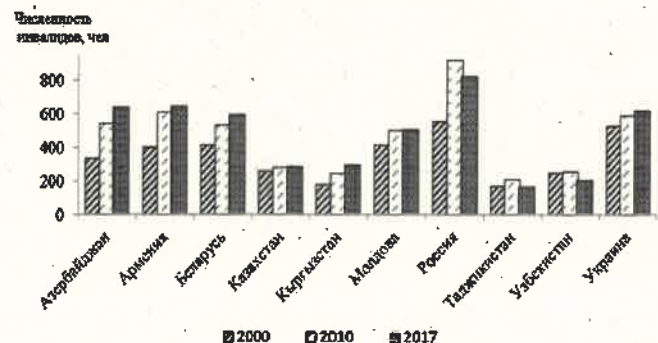


Рисунок 1 – Численность инвалидов в странах СНГ:

Пожилые люди не всегда могут свободно перемещаться, т. к. многие из них имеют нарушения опорно-двигательного аппарата, что также ограничивает свободу их передвижения и создает дискомфортные условия проживания.

Следует также отметить, что на планете ежегодно наблюдается рост количества пожилых людей, и, по прогнозам специалистов, эта тенденция будет наблюдаться в ближайшие годы (рисунок 2).

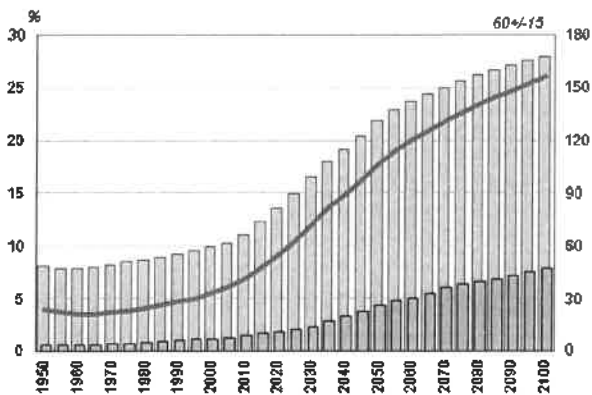


Рисунок 2 – Прогноз численности пожилых людей (в возрасте 60 лет и старше) в мире

Представленная тенденция характерна и для граждан Республики Беларусь (рисунок 3).

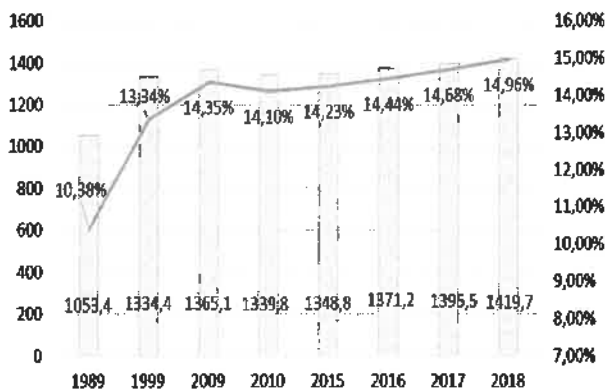


Рисунок 3 – Динамика изменения численности населения старше 65 лет в Республике Беларусь по годам

Анализ состояния безбарьерной среды в Республике Беларусь показал, что на железнодорожном транспорте в течение последних 10 лет сформировано безбарьерное пространство по передвижению людей с ограниченными возможностями и маломобильных групп населения. Белорусская железная дорога с учетом потребностей разных категорий пассажиров осуществляет комплексную модернизацию подвижного состава и обновление пассажирской инфраструктуры, а также разрабатывает и продвигает новые проекты в рамках развития туристической сферы нашей страны. Так, Белорусская железная дорога ежегодно реализует комплекс технических и организационных мер для того, чтобы сделать поездку пассажиров с ограниченными физическими возможностями комфортной и удобной. Сегодня на 42 объектах Белорусской железной дороги проведены работы по созданию доступной среды для инвалидов и физически ослабленных лиц, в том числе в 2020 году на всех вокзалах Беларуси были установлены таблички со шрифтом Брайля, а также приобретено 3 дизель-поезда, адаптированных для перевозки физически ослабленных

лиц, в которых установлены информационные табло, кнопки вызова персонала и другие технические решения, облегчающие поездку по железной дороге.

Белорусская железная дорога в ближайшие годы планирует закупить 10 электропоездов межрегиональных линий, адаптированных для перевозки пассажиров, имеющих ограничения при передвижении. Всего с начала 2020 года было оформлено более 210 проездных документов на перевозку инвалидов-колясочников в специальных вагонах.








В настоящее время для обеспечения безбарьерной среды выполняются работы на вокзале станции «Минск-Пассажирский», включающие установку мнемосхемы планов здания, таблички со шрифтом Брайля, устройства звуковой навигационной системы (речевых информаторов), кнопки вызова персонала, а также понижаются уровни билетных касс. После завершения комплексной адаптации вокзала станции «Минск-Пассажирский» для обслуживания всех категорий инвалидов накопленный опыт активно используется при проведении работ на других станциях Белорусской железной дороги. Помимо этого, контакт-центром Белорусской железной дороги в круглосуточном режиме предоставляется информация согласно запросам с помощью мессенджеров Viber, Telegram и WhatsApp, а также по электронной почте brail@rw.by и номеру 151. Дополнительно для пассажиров с нарушением слуха организован канал видеосвязи с контакт-центром на языке жестов через приложение Skype по ссылкам, размещенным на официальном сайте pass.rw.by в разделе «105 Контакт-центр». Кроме того, лица, передвигающиеся в инвалидных колясках, могут по заявлению осуществить поездку в специальном вагоне, предназначенном для перевозки пассажиров с ограниченными физическими возможностями. Форма онлайн-заявки размещена на официальном сайте Белорусской железной дороги в разделе «Поддержка пассажиров с ограниченными физическими возможностями».

С информацией о планировании своего маршрута пассажиры с ограниченными физическими возможностями могут ознакомиться на сайте в разделе «Услуги пассажирам». Таким пассажирам разрешается провозить при себе без взимания платы сверх установленной нормы за провоз ручной клади инвалидную коляску и иные необходимые технические средства реабилитации. Если инвалида по зрению сопровождает собака-поводырь, то она может перевозиться без оформления перевозочных документов бесплатно во всех типах и классах вагонов. Собака должна иметь ошейник, намордник и находиться у ног пассажира, которого она сопровождает.








Таким образом, создание безбарьерной среды – это общемировая тенденция, благодаря которой создаются комфортные как в психологическом, так и культурном, физическом, социальном отношении условия для инвалидов и населения с ограниченными возможностями при передвижении.

В таблице 2 представлена краткая характеристика безбарьерного пространства на железнодорожных вокзалах Белорусской железной дороги.

Таблица 2 – Краткая характеристика безбарьерного пространства на железнодорожных вокзалах Беларуси.

Железнодорожный вокзал	Элементы безбарьерного пространства	Краткая характеристика
г. Минск	<p>Кнопка вызова персонала</p> 	<p>Размещение кнопки вызова персонала (администратора, дежурного по вокзалу) в доступном месте с информационным сопровождением</p>
	<p>Траволатор и конкорсы</p> 	<p>Устройство траволатора и конкорсов при входе в здание вокзала с пассажирских платформ</p>
	<p>Одноуровневое размещение</p> 	<p>Размещение входа в здание вокзала и пассажирской платформы № 1 в одном уровне</p>
	<p>Пандус с поручнями</p> 	<p>Устройство пандуса с поручнями при входе в здание вокзала с привокзальной площади</p>
	<p>Лифты в здании вокзала на привокзальной площади</p> 	<p>Устройство лифтов, оборудованных поручнями для перемещения в здании вокзала и с привокзальной площади для входа в тоннель и далее перемещения на ул. Дружную, к метрополитену и пассажирским платформам</p>
г. Брест	<p>Тоннель, соединяющий Варшавскую и Московскую стороны вокзала</p> 	<p>Оборудование тоннеля, соединяющего Варшавскую и Московскую стороны вокзала пандусами с поручнями и лифтами</p>
	<p>Тактильная плитка на пассажирских платформах</p> 	<p>Устройство тактильной плитки на основных маршрутах передвижения для людей с ослабленным зрением</p>

Окончание таблицы 2

Железнодорожный вокзал	Элементы безбарьерного пространства	Краткая характеристика
г. Драгичин, Брестская область	<p>Пандусы у здания вокзала</p> 	<p>Выход из здания вокзала на привокзальную площадь с отсутствием острых углов при передвижении</p>
г. Гомель	<p>Тоннель для перемещения на пассажирские платформы</p> 	<p>Устройство тоннеля с пандусом и поручнями при перемещении с привокзальной площади на пассажирские платформы</p>
	<p>Пандусы у здания вокзала</p> 	<p>Выход к городскому общественному транспорту из здания вокзала на привокзальную площадь, а также вход в вокзал</p>
г. Жлобин	<p>Пандусы у здания вокзала</p> 	<p>Выход к городскому общественному транспорту</p>
	<p>Зал ожидания и билетные кассы</p> 	<p>Размещение в одном уровне билетных касс и зала ожидания на вокзале</p>
г. Полоцк	<p>Пандусы у здания вокзала</p> 	<p>Выход к городскому общественному транспорту</p>
г. Солигорск	<p>Пандусы у здания вокзала</p> 	<p>Выход к городскому и общественному транспорту</p>

Анализ таблицы 2 показал, что инфраструктура значительного количества железнодорожных вокзалов Республики Беларусь, особенно областных центров, приспособлена для передвижения людей с ограниченными возможностями. Железнодорожные вокзалы городов имеют пандусы, а вокзальный комплекс столицы оборудован траволаторами, лифтами и в административных помещениях на определенной высоте расположены кнопки вызова сотрудника в случае, если необходимо содействие в приобретении билета или сопровождении (рисунок 4).



Рисунок 4 – Безбарьерная среда вокзала Минск-Пассажирский

В настоящее время железнодорожные вокзалы страны располагают специальным подъемным устройством, позволяющим маломобильным группам населения беспрепятственно совершить посадку в вагон (рисунок 5).

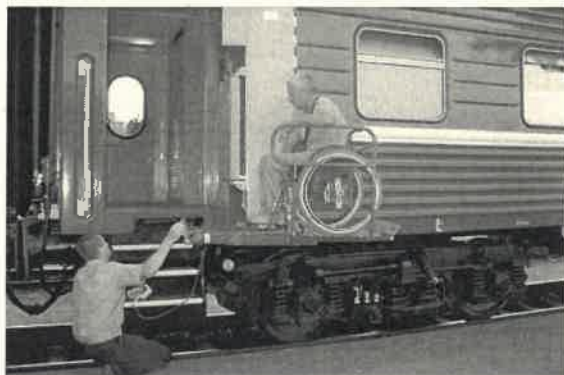


Рисунок 5 – Специальное подъемное оборудование поезда для маломобильных групп населения

Следует отметить, что согласно общим требованиям по обеспечению травмобезопасности на железнодорожных вокзалах предусмотрено отсутствие острых углов, выступающих деталей, плохо обработанной и грубой поверхности. При этом предпочтение отдается формам, имеющим плавные очертания.

Получено 01.04.2022

T. A. Vlasuk. Features of the organization of the Barrier-Free space for Passengers at rail way stations of the Republic of Belarus.

The analysis of the state of barrier-free space at railway stations of the Republics of Belarus was carried out according to the National Plan for the implementation of the provisions of the Convention on the Rights of Persons with Disabilities for 2017–2025. Within the framework of this plan, the formation of a barrier-free space is the most important condition for ensuring equal opportunities for people with disabilities and physically weakened persons to participate in society. This area of activity is especially relevant for railway transport, which is characterized by increased carrying capacity and is the most in demand for the transportation of passengers, both in regional and long-distance communications. However, railway stations, aprons, as well as passenger platforms located between the tracks, have an established infrastructure that cannot always be reconstructed based on safety requirements and restrictions on the area of passenger platforms.

Заключение. Последовательная реализация государственной политики в рамках Национального плана действий по реализации в Республике Беларусь положений Конвенции о правах инвалидов на 2017–2025 годы будет способствовать созданию доступного единого безбарьерного пространства для инвалидов и других маломобильных групп населения и их социализации в обществе, а также повышению мобильности при осуществлении поездок на железнодорожном транспорте.

Список литературы

- 1 Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 13.06.2017 № 451 «Об утверждении Национального плана действий по реализации в Республике Беларусь положений Конвенции о правах инвалидов на 2017–2025 годы» [Электронный ресурс] // Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь, 01.01.2020, 5/47611). – Режим доступа : https://pravo.by/upload/docs/op/C21700451_1497646800.pdf. – Дата доступа : 10.03.2022.
- 2 Власюк, Т. А. Особенности организации безбарьерной среды для пассажиров на железнодорожных вокзалах Вены (Австрия) / Т. А. Власюк // Проблемы безопасности на транспорте : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. – 2019. – С. 97–100.
- 3 Власюк, Т. А. Особенности организации безбарьерной среды для пассажиров на железнодорожных вокзалах стран Западной Европы / Т. А. Власюк // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2019. – № 2. – С. 73–77.
- 4 Власюк, Т. А. Организация безбарьерной среды для маломобильных пассажиров на железнодорожном транспорте в Российской Федерации на основе государственной программы «Доступная среда» / Т. А. Власюк // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2021. – № 1. – С. 82–85.
- 5 Глебова, А. В. Безбарьерная среда. Анализ зарубежного опыта / А. В. Глебова // Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2014. – С. 144–148.
- 6 Зайцева, Н. А. Безбарьерный туризм / Н. А. Зайцева, Д. Б. Шуравина. – М. : КноРус, 2016. – 176 с.
- 7 Лазовская, Н. А. Безбарьерная среда открытых городских пространств / Н. А. Лазовская // Региональные архитектурно-художественные школы. – 2015. – № 1. – С. 54–59.
- 8 Лазовская, Н. А. Безбарьерная среда для маломобильных групп населения. Разд. 13. Проектирование и создание малых ландшафтно-архитектурных форм (комплексов); пособие проектировщику / Н. А. Лазовская ; под общ. ред. Г. А. Потаева. – Минск : Минсктипроект, 2006. – 256 с.
- 9 Терскова, С. Г. Механизм формирования доступной среды для инвалидов / С. Г. Терскова // Гуманитарные научные исследования. – 2015. – № 7–2 (47). – С. 31–37.
- 10 Малков, И. Г. Архитектура железнодорожных вокзальных комплексов : [монография] / И. Г. Малков, И. И. Малков, М. М. Власюк / под общ. ред. И. Г. Малкова. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 116 с.

УДК 656.05

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

ОПТИМИЗАЦИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ОБЪЕКТАМИ УПРАВЛЕНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ДИСПЕТЧЕРСКИХ УПРАВЛЯЮЩИХ РЕШЕНИЙ

Приведены результаты исследований условий оптимального взаимодействия с объектами управления при разработке управляющих решений по изменению диспетчерским аппаратом поездной ситуации. Рассматриваются ситуации отклонений действительных значений и выходных параметров результатов реализации управленческих решений и воздействий диспетчерского аппарата на перевозочный процесс. Рассматривается классификация управленческих решений, принимаемых в условиях определенности и последующего риска от реализации принятых решений.

Диспетчерское управление объектами, участвующими в выполнении перевозочного процесса предусматривает выработку директивных, управляющих решений и воздействий на их основе. Они вырабатываются по элементам эксплуатационной работы: организация поездной работы на участках – пропуск поездов по участкам и направлениям (поезд N_i , время принятия решений для мобильных объектов t_i , стационарные объекты на участке S_j); организация грузовой работы на станциях участка (взаимодействие с мобильными объектами грузовой работы B_i , времени принимаемых решений t_i , стационарными объектами грузовой работы M_j); организация работы локомотивов и локомотивных бригад на участке.

Взаимодействие с объектами управления рассматривается для условий концентрации диспетчерского управления движением поездов из единых центров [1]. Эта система предусматривает руководство всей поездной работой, в том числе работой локомотивов и локомотивных бригад на направлении, из единого центра управления. Однако имеется ряд нерешенных проблем диспетчерского управления перевозками из единых центров. Одной из таких проблем является совершенствование взаимодействия диспетчерского персонала с управляемыми объектами. В то же время при наличии высококлассной вычислительной техники, при нарушении взаимодействия с объектами управления происходит снижение эффективности принимаемых диспетчерских решений.

Каждый из объектов диспетчерского управления может быть описан уравнениями, характерными для собственного уровня диспетчерского персонала.

При диспетчерском управлении движением поездов на участке: характеризуется матрицей $N \times N$ последовательно выполняемых событий с одним поездом в виде кортежа $\langle N_i, a_s, t_a \rangle$, который конкретизирует поездостанцию в момент принятия диспетчерских решений.

Для управляемого диспетчерского участка формируется матрица, отражающая суточный график движения поездов:

$$F_m(t) = \begin{pmatrix} N_1, S_1, t(N_1)_{s_1}; N_1, S_2, t(N_1)_{a_2}; N_1, S_n, t(N_1)_{a_s} \\ N_2, S_1, t(N_2)_{a_1}; N_2, S_2, t(N_2)_{a_2}; N_2, S_n, t(N_2)_{a_s} \\ \dots \\ N_i, S_1, t(N_i)_{a_1}; N_i, S_2, t(N_i)_{a_2}; N_i, S_n, t(N_i)_{a_s} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где N_i – порядковый номер поезда, с которым работает диспетчер на участке; S_n – станция прохождения i -го поезда в момент t .

Объект диспетчерского руководства грузовой работой на станциях управляемого полигона (на диспетчерском участке) описывается выражением

$$B(t_0 + t_k) = b_1[a_1(t_0 + t_k)] + b_2[a_2(t_0 + t_k)] + \dots + b_s[a_s(t_0 + t_k)], \quad (2)$$

где $b_i[a_s(t_0 + t_k)]$ – объем грузовой работы, выполняемый по станции a_s за период $(t_0 + t_k)$.

Одним из элементов грузовой работы на участке является организация местной работы со сборными и вывозными поездами и маневровых передвижений.

Организация работы сборных и вывозных поездов формулируется по сокращенному варианту полной матрицы (1). При этом используется методическое обеспечение для расчетов прогнозируемой результативности, величины необходимых затрат ресурсов, предполагаемой экономической эффективности основных концептуальных решений по развитию и модернизации системы диспетчерских центров управления перевозками в области грузовых операций и местной работы, автоматизированных рабочих мест диспетчерского персонала и автоматизированных обучающих систем оперативного персонала [2]. Проведение исследований на железных дорогах, на которых диспетчерские центры работают более эффективно, показало, что, применяя системный анализ определения ожидаемой эксплуатационной и экономической эффективности от автоматизации оперативного управления перевозками, можно более точно рассчитать эффективность. При оценке решений по развитию и модернизации системы диспетчерских центров рассматривается оптимизация взаимодействия диспетчерского персонала с объектами управления на участке с учетом затрат ресурсов на разработку и реализацию диспетчерских решений, связанных с проводимыми мероприятиями.

При организации местной работы на участке организация маневровых передвижений выполняется по следующим вариантам:

- поездным локомотивом от сборного поезда;
- специально выделенным маневровым локомотивом, который выполняет маневровую работу на участке.

По первому варианту прицепка, отцепка, расстановка вагонов по грузовым фронтам на выделенных станциях участка, уборки вагонов после грузовых операций выполняется поездным локомотивом. Исследования, проведенные в 2020 г., показали, что эксплуатационные параметры такого варианта выполнения местной работы

на участке для одной станции (продолжительность нахождения поездного локомотива и локомотивной бригады; дополнительный простой вагонов, следующих на другие станции участка (на один вагон); занятие путевого развития; использование трудовых ресурсов на выполнение местной работы на станции) – 118 мин.

По второму варианту рассматривается использование специального маневрового локомотива, выделенного для выполнения маневровых передвижений на промежуточных станциях участка. Для него формируется отдельная матрица взаимодействия. При этом следует учитывать, что маневровая работа, выполняемая поездным локомотивом ограничивается отцепкой вагонов, имеющих назначение на станцию и прицепкой локомотивов, предназначенных к отправлению. Общая продолжительность нахождения сборного поезда на станции в данном случае сокращается до 40–45 мин.

С учетом существенной разницы в стоимости одного часа работы поездного и маневрового локомотивов использование последнего становится более выгодным (рисунок 1).



Рисунок 1 – Оценка эффективности использования поездного и маневрового локомотивов для местной работы на участке

По финансовым итогам работы железной дороги за 2021 г. стоимость работы поездного локомотива составила 188,23 руб., маневрового – 62,78. При общей продолжительности выполнения маневровой работы поездным локомотивом его затраты увеличиваются.

Организация маневровых передвижений (выполнение прицепки и отцепки, подача и уборка местных вагонов) при управлении ей из диспетчерского центра предусматривает принципиальные решения по внедрению инновационных технологий и оптимизации управления эксплуатационной работой на полигоне железной дороги [3]. Опыт их реализации показал эффективность на Западно-Сибирской железной дороге. Оптимизированы процессы, протекающие в центре управления, характерные при выполнении взаимодействия с объектами управления на участке диспетчеров при организации местной работы.

В процессе взаимодействия с объектами управления реализуется матрица руководства поездной и местной работой, используемая в модели местной работы на диспетчерском участке, управление которым выполняется из диспетчерского центра:

$$F_{m_s} = G \begin{vmatrix} m_1 a_1 t_{a_1}, m_1 a_2 t_{a_2}, m_1 a_s t_{a_s} \\ m_1 a_1 t_{a_1}, m_1 a_2 t_{a_2}, m_1 a_s t_{a_s} \\ \dots \\ m_1 a_1 t_{a_1}, m_1 a_2 t_{a_2}, m_1 a_s t_{a_s} \end{vmatrix}, \quad (3)$$

где m_1 – объект выполнения грузовой работы на станции участка; a_1-a_s – станции с грузовой работой на участке; t_a – время выполнения маневровых передвижений, необходимых для реализации грузовой работы на станции.

В векторно-матричной форме описание взаимодействия с управляемыми объектами выполняется следующим образом:

$$Y = N(R) + B\omega_i + M + \Delta R(N, B, M), \quad (4)$$

где B – вектор выполнения поездной работы на участке при реализации управляющих воздействий на объекты грузовой работы; ω_i – управляющее воздействие на объекты управления по обеспечению погрузки и выгрузки в плановых объемах; M – матрица маневровых передвижений, выполняемых на участке за период управления (по вариантам использования поездного локомотива или специального маневрового); $\Delta R(N, B, M)$ – матрица отклонений при выполнении управляющих воздействий на объекты управления местной работы на станциях участка.

Система уравнений, описывающих процесс взаимодействия диспетчерского персонала с объектами на участке и выработки управляющего воздействия, имеет вид

$$R_i = r_i K_r + G' \Delta Y + G'' \Delta X, \quad (5)$$

где r_i – управляющее воздействие на объект; K_r – матрица корректировочных коэффициентов соответствующего процесса, происходящего на объектах; G', G'' – векторы корректировочных коэффициентов управляющих воздействий на объекты при отклонениях выходного (ΔX) и промежуточного (ΔY) параметров эксплуатационной работы на управляемом участке.

Взаимодействие с объектами в системе диспетчерского управления при формировании модели диспетчерского управления участком описывается уравнением функционирования информационной системы. Для одного объекта управления:

$$I(X, Y) = G(Y) + \sum \Delta I_r(t_0 + t_k). \quad (6)$$

При этом для каждой разновидности поездо-потоков на диспетчерском участке рассматривается собственная формализация условий взаимодействия поездной и местной работы.

При рассмотрении транзитного поездо-потока для участка в качестве объекта управления рассматриваются выходные потоки:

– информационные –

$$\Delta I_{тp}(t_0 + t_k) = \sum I(y)_m, \quad (7)$$

– материальные –

$$S_f(x, w, z, y) dt. \quad (8)$$

Учитывается изменение состояний станционных подсистем на участке при реализации процессов поездной работы, находящихся под контролем диспетчера:

$$\Delta I_{сx}(t_0 + t_k) = \sum i(P_n)_s + \sum i(B_n)_s + \sum i(n_m, n_{тp}, b_k) + \sum i(f_s), \quad (9)$$

где $\sum i(P_n)_s$ – информация о выполнении процесса пропуска транзитного вагонопотока через станцию; $\sum i(B_n)_s$ – то же о местном вагонопотоке для станции; $\sum i(n_m, n_{тp}, b_k)$ – данные о наличии вагонов соответствующего вида сообщения на станциях; $\sum i(f_s)$ – информация о наличии ресурсов для обеспечения перевозочного процесса на станциях (локомотивы, локомотивные бригады, ограни-

чения по путевому комплексу, СЦБ, системы информатики).

При организации пропуска поездов по участку используется информация по объектам:

$$\Delta I(t_0 + t_k) = \sum i(P_n)_i + \sum i(P_m)_i, \quad (10)$$

где $\sum i(P_n)_i$ – информация о проследовании поездов по участку без местной работы; $\sum i(P_m)_i$ – то же о поездах, следующих по участку с выполнением маневровых передвижений (работа сборных, вывозных поездов и диспетчерских локомотивов).

Информация по объектам при обработке местного вагонопотока

$$\Delta I_b(t_0 + t_k) = \sum i(B_S)_i + \sum i(B_N)_i, \quad (11)$$

где $\sum i(B_S)_i$ – информация о выполнении необходимых видов работ с местными вагонами на станциях, подъездных путях и в узлах, выделенных в самостоятельные объекты управления, их состоянии и технологическом положении (погружено вагонов, нахождение вагонов под погрузкой, под выгрузкой); $\sum i(B_N)_i$ – то же для подсистем, характерных для участка.

Уравнение отклонений действительных значений и выходных параметров результатов реализации управленческих решений и воздействий на объекты управления имеет вид

$$\Delta R = R_{\text{уп}} - I(X|Y), \quad (12)$$

где $R_{\text{уп}}$ – вектор заданных управленческих решений по реализации управляющих воздействий на объект.

Разностное векторно-матричное уравнение, соответствующее алгоритму выработки управляющих воздействий для объектов

$$R[k, t_0 + t_k] = \sum N_j \Delta R_j[k-j, t_0 + t_k] + \sum A_j R_j[k_j, j, t_0], \quad (13)$$

где N_j – матрица алгоритма выработки управляющих воздействий по организации и выполнению поездной работы на участке; A_j – матрица корректирующих коэффициентов обратных связей при управляющих воздействиях, размерности (1×1) .

Прикладное решение уравнения (13) для рассматриваемой системы диспетчерского управления:

– для традиционной системы диспетчерского управления выражается полиномом

$$R_{i(\text{тр})} = K_1 r_1 [L_n^{[1]}] + K_2^{[2]} r_2 [L_n^{[2]}] + K_3^{[3]} r_3 [L_n^{[3]}] + G'(\Delta Y) + G''(\Delta X), \quad (14)$$

который решается с использованием системы нормальных уравнений

$$\begin{aligned} K_1 + r_2 \sum_{i=0}^k K_i^2 + r_3 \sum_{i=0}^k K_i^3 &= \sum_{i=0}^k R_i; \\ r_1 \sum_{i=0}^k K_i^2 + r_2 \sum_{i=0}^k K_i^4 + r_3 \sum_{i=0}^k K_i^5 &= \sum_{i=0}^k R_i K_i^2; \\ r_1 \sum_{i=0}^k K_i^3 + r_2 \sum_{i=0}^k K_i^5 + r_3 \sum_{i=0}^k K_i^6 &= \sum_{i=0}^k R_i K_i^3; \end{aligned} \quad (15)$$

– для системы, в которой интегрировано диспетчерское управление в управлении дороги при оптимизации взаимодействия с объектами управления, используется полином следующего вида:

$$R_{i(\text{цв})} = K_1 r_1 [L_n^{[1]}] + K_2^{[2]} r_2 [L_n^{[2]}] + G' \Delta Y + G'' \Delta X, \quad (16)$$

для его решения применяется система уравнений

$$\begin{aligned} r_1 \sum_{i=0}^k K_i + r_3 \sum_{i=0}^k K_i^3 &= \sum_{i=0}^k R_i; \\ r_1 \sum_{i=0}^k K_i^2 + r_2 \sum_{i=0}^k K_i^3 &= \sum_{i=0}^k R_i K_i; \\ r_1 \sum_{i=0}^k K_i^3 + r_2 \sum_{i=0}^k K_i^4 &= \sum_{i=0}^k R_i K_i^2; \end{aligned} \quad (17)$$

– при выделении в системе диспетчерского управления оперативного руководства с опорной станции (для малодейственных участков) уравнение оптимизации взаимодействия с объектами принимает вид

$$R_{i(\text{OC})} = r_0 + r_1 K_i + G'(\delta Y) + G''(\Delta X), \quad (18)$$

и имеет следующее решение:

$$\begin{aligned} r_0 + r_1 \sum_{i=0}^k K_i &= \sum_{i=0}^k R_i; \\ r_0 \sum_{i=0}^k K_i + r_2 \sum_{i=0}^k K_i^2 &= \sum_{i=0}^k R_i K_i; \\ r_1 \sum_{i=0}^k K_i^3 + r_2 \sum_{i=0}^k K_i^5 + r_3 \sum_{i=0}^k K_i^6 &= \sum_{i=0}^k R_i K_i^3. \end{aligned} \quad (19)$$

Принятие решений может быть определено как процесс выбора приемлемой альтернативы взаимодействия с управляемыми элементами из набора возможных альтернатив. Количественно пригодность выбранной альтернативы оценивается с точки зрения полезности и связанных с ней понятий.

При разработке новых систем диспетчерского управления или адаптации существующих под новые технологические и экономические требования выполнения поездной работы на управляемых объектах существуют главные аргументы в пользу изучения и моделирования поведения человека, принимающего решения по управлению перевозочным процессом. При этом в новых условиях возникает проблема эффективности бизнес-процессов, связанных с управлением движением поездов и местной работой на участках и их актуальности, создания высокопроизводительных рабочих мест. Особое внимание при этом уделяется системе диспетчерского оперативного управления движением поездов. Цель оптимизации управления объектами – совершенствование структуры управления, уточнение функций, устранение многоступенчатости их дублирования. После проведенного функционального анализа деятельности оперативного персонала диспетчерского центра Белорусской железной дороги рассматривается возможность перераспределения функций диспетчера по управлению вагонными парками между другими оперативными работниками диспетчерского центра [4].

Принятые методики и технические средства отображения оперативной информации об объектах управления на линии часто используются для того, чтобы усовершенствовать шаблонные методы принятия решений. Трудно решать задачи данного типа без моделей, помогающих понять и предсказать действия человека-оператора. При этом необходимо иметь данные о том, как диспетчер выполняет свою работу, что позволяет рассматривать концептуальную структуру, в рамках которой можно интерпретировать его действия. К тому

же модели и переменные, описывающие действия диспетчера при принятии оперативных решений, должны быть совместимы с моделями и переменными, описывающими действия управляемого объекта в тех пределах, в которых может быть проведена граница между диспетчером, принимающим решения, и управляемыми техническими системами.

Автоматизированное принятие решений часто используется в сложных управляющих системах, при этом оно выполняется либо вычислительным комплексом, либо самими диспетчерами по заранее разработанному методу. В последнем случае имеет важное значение оптимальное взаимодействие с объектами управления, результативность которого заключается в получении максимального эффекта диспетчерского управления при минимальных затратах информационных, трудовых и финансовых ресурсов (рисунок 2).

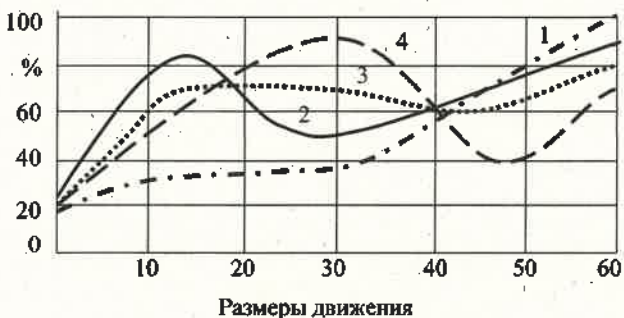


Рисунок 2 — Интерпретация эффективности взаимодействия объектов диспетчерского управления:

- 1 — информационный поток; 2 — технологические ресурсы;
3 — финансовые ресурсы; 4 — интегрированный эффект

На приведенных на рисунке 2 диаграммах которые построены по результатам исследований на Белорусской железной дороге в процессе формирования концептуального её развития, показана взаимосвязь параметров взаимодействия объектов управления и диспетчерского персонала. При этом следует учитывать, что решения по диспетчерскому управлению поездной работой не могут быть лучше, чем данные, критерии и меры пригодности, которые использовались в процессе их принятия.

Виды деятельности диспетчерского персонала включают принятие решений в виде неявной составляющей, хотя они чаще рассматриваются как сенсорные или познавательные действия по результатам взаимодействия с объектами управления. В таких случаях модели, в которые аспекты результативности задачи оперативного управления, связанные с принятием решений по организации поездной работы на участках и в узлах, входят в явном виде, часто являются лучшими предсказателями поведения управляемых систем, и даже если они предсказывают действия неточно, они могут указать, какие переменные будут важны, а также характер их влияния на результативность принимаемых решений.

При учёте влияния управляемых объектов в модели принятия решений рассматривается развитие полигонной модели управления перевозочным процессом. В ряде случаев рассматривается необходимость разработки нового технологического диспетчерского управления из центра с учётом дополнительного влияния состояния линейных объектов на участке [5].

Принятие очередного диспетчерского решения — это выбор одной возможности из представленных альтерна-

тив, полученных по результатам эффективного взаимодействия диспетчерского персонала с объектами управления. Когда выбирается приемлемая альтернатива A_i , то существует набор условий по её реализации B_i , часто называемых состояниями объектов управления, которые вместе с альтернативой определяют исход или следствия C_{ij} , так как они влияют на принимаемое решение.

Решение принимается в условиях определенности или риска возникновения конкретного состояния объектов управления. Поскольку обычное использование объектов управления включает риск, при котором исходы решений не определены, то обычное взаимодействие с объектами управления приведёт к неопределённости с известной вероятностью конечного результата.

Использование системного подхода к диспетчерскому управлению перевозками при его реализации позволяет решать основные функции, базирующиеся на положениях теории систем: руководство, организация, планирование, регулирование и управление; оценка объема и качества эксплуатационной работы с помощью показателей веса и скорости движения поездов; диспетчерское руководство и технология перевозочного процесса [6].

При оптимизации взаимодействия диспетчерского аппарата с объектами управления различных уровней рассматривается структура результативности:

- множество следствий взаимодействия объектов в различных и полностью предварительно задаваемых условиях;

- использование отношений предпочтения, которые возникают для входа (x) и выхода (y) на каждом объекте. При этом для всех значений параметров входа и выхода (x) и (y) принимающий решение диспетчер отдаёт либо предпочтение развитию выходных параметров $y(xPy)$, связанных с входными параметрами, либо предпочитается выходной параметр $x(yPx)$. Имеется нейтральный вариант, когда не делается различие между ними и нет предпочтения одного из них другому (x/y);

- существует функция полезности принимаемых решений u в области C_i для любого варианта входного транспортного потока;

- рассматривается связь полезности и предпочтительности взаимодействия объектов управления: если предпочтение отдаётся xPy , то $u(x) > u(y)$. Наоборот, если $u(x) > u(y)$, то xPy . Если $u(x) = u(y)$, то x/y ; наоборот, если x/y , то $u(x) = u(y)$;

- предпочтения управленческих решений остаются постоянными в течение периода управления;

- при рассмотрении альтернативы полезность сочетания с предпочтением может быть определена в соответствии с целевой задачей управления [7].

Каждое из этих предположений должно быть связано с поведением диспетчера, принимающего решения на основании результативности взаимодействия с объектами управления.

Принимаемое решение A , выбираемое из двух или большего числа альтернатив, приводит к исходу, полезность которого $u(A, B)$ зависит от того, какое состояние объектов B имеет место. Однако выбору решения диспетчером A предшествует одна или несколько возможностей команд a_i , имеющих исход b_i , чтобы обнаружить, какое именно состояние объектов B фактически существует. Одним из вариантов взаимоотношений диспетчерского аппарата центра с объектами управления является график движения поездов с эталонными решениями.

Полезность выбора управленческих команд диспетчером a_i , полученная в результате оптимального взаимодействия с объектами управления b_j , выбора альтернативы A_i и обнаружения того, что имеет место ситуация B_j , которая обозначена $u(a_i, b_j, A_i, B_j)$. Полезность диспетчерского решения для альтернативы A_i , которая может привести к ожидаемому исходу, равна максимуму полезностей, связанных с альтернативами A_1 и A_2 :

$$u(a_i, b_j) = \max_i \{u(a_i, b_j, A_i)\}. \quad (20)$$

В таком случае полезность после выбора управленческого решения a_i и другими экспериментами a_i будет максимальной:

$$u = \max_i \{u(a_i)\}. \quad (21)$$

Величина $u(a_i)$ не определяет полезность принимаемого решения a_i , её лучше всего интерпретировать как ожидаемую полезность дальнейших действий, если выбрано это решение. Полезность решения, принятого по оптимальному взаимодействию с объектами, называют его *информационной ценностью*, т. е. разностью между $u(a_i)$ и полезностью дальнейших действий $u(a_0)$, соответствующих принятию решения вообще не проводить его в действие.

Максимально возможная полезность выполнения решения, которую называют *предвидимой ценностью*, представляет разность между полезностью $u(a_i)$, получаемой, если бы эксперимент a_i давал несомненное знание о состоянии объектов B_j , и полезностью $u(a_0)$, если не проводится никакого рассмотрения принятия решений:

$$u(a_i) - u(a_0) = \sum p(B_j) [\max \{u(a_i, A_i, B_j)\}] - \max \{\sum p(B_j) u(a_0, A_i, B_j)\}. \quad (22)$$

В первом члене выражения имеет место предварительная информация или предвидение поведения объектов B_j , что позволяет с необходимой определенностью выбирать одно наилучшее диспетчерское решение A_i для известного B_j . При этом известно заранее, что каждое наилучшее сочетание решений A_i и B_j происходит с частотой, с какой происходит изменение состояния объектов B_j . Во втором члене выражения (при отсутствии предварительной информации о состоянии B_j) отражается то, что можно сделать при принятии диспетчерского решения – выбрать наилучшее его значение A_i для всего распределения состояний объектов управления B_j .

Заключение. С учетом влияющих факторов оптимизации взаимодействия с объектами диспетчерского

управления при разработке решений необходимо отметить следующее:

- в условиях дистанционного управления поездной и грузовой работой на участках взаимодействие с управляемыми объектами может выполняться по ранее разработанной модели, направленной на достижение конечной задачи работы поездного участка;

- рассматривается принятие решений по выбору варианта по использованию специального маневрового локомотива, выделенного для выполнения маневровых передвижений на промежуточных станциях участка либо поездного локомотива;

- важное значение имеет оптимальное взаимодействие с объектами управления на участке, результативность которого заключается в получении максимального эффекта при минимальных затратах информационных, трудовых и финансовых ресурсов, что в целом отражается на результативности эксплуатационной работы железной дороги при различных условиях её функционирования.

Список литературы

- 1 Зубков, В. Н. Выбор системы управления местной работой в условиях концентрации диспетчерского управления перевозками на железнодорожном транспорте / В. Н. Зубков, Н. Н. Мусиенко, М. В. Малычев // Совершенствование технологии железнодорожных перевозок : Междунар. межвуз. сб. науч. тр. – Ростов н/Д, 2011. – № 6 (73). – С. 56–60.
- 2 Выбор и установление критериев получения положительных эффектов от внедрения концептуальных решений по развитию и модернизации системы диспетчерских центров управления перевозками на железных дорогах / Г. М. Грошев [и др.] // Автоматика на транспорте. – 2018. – Т. 4, № 4. – С. 580–602.
- 3 Рахимжанов, Д. М. Процессное управление эксплуатационной работой / Д. М. Рахимжанов // Железнодорожный транспорт. – 2015. – № 11. – С. 8–15.
- 4 Весёлова, В. Ю. Совершенствование системы оперативного управления на Красноярской железной дороге / В. Ю. Весёлова, Н. В. Давыдова, А. В. Дудакова // Молодая наука Сибири. – 2020. – С. 21–27.
- 5 Власенский, А. А. Региональный центр управления перевозками: структура и задачи / А. А. Власенский // Железнодорожный транспорт. – 2016. – № 6. – С. 45–48.
- 6 Левин, Д. Ю. Системное управление перевозочным процессом на железнодорожном транспорте : [монография] / Д. Ю. Левин. – М : Инфра-М, 2018. – С. 313.
- 8 Калинина, Н. А. Логистический подход к ситуационному управлению перевозочным процессом / Н. А. Калинина, М. Н. Нехаев, Л. К. Эгерман // Вестник транспорта. – 2011. – № 3. – С. 28–32.

Получено 20.04.2022

A. A. Mikhalechenka. Optimization of interaction with control objects when developing dispatch control solutions.

The results of studies of the conditions for optimal interaction with control objects in the development of control decisions for changing the train situation by the dispatching apparatus are given. The situations of deviations of the actual values and output parameters of the results of the implementation of management decisions and the impact of the dispatching apparatus on the transportation process are considered. The classification of managerial decisions taken in conditions of certainty and subsequent risk from the implementation of the decisions taken is considered.

УДК 656.025.2

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

РАЗВИТИЕ ПУТЕВОГО ХОЗЯЙСТВА БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Путевое хозяйство Белорусской железной дороги совместно с другими хозяйствами образует единый инфраструктурный комплекс, который является фундаментом перевозочного процесса. На долю путевого хозяйства приходится больше 50 % основных фондов отрасли, а с развитием скоростей движения поездов и научным прогрессом транспорта его роль значительно возрастает. Нормальное функционирование путевого хозяйства – залог отличной работы всей Белорусской железной дороги в целом.

Введение. Путевое хозяйство Белорусской железной дороги – это высокотехнологичный комплекс железнодорожной инфраструктуры, постоянно совершенствующийся как технически, так и организационно. При соблюдении всех требований нормативно-правовых актов, инструкций и других документов путевого хозяйства способно выполнять задачи по обеспечению экономики республики в грузо- и пассажироперевозках.

Основная задача путевого хозяйства состоит в обеспечении бесперебойного и плавного движения поездов с установленными скоростями и осевыми нагрузками.

Способом решения этой задачи является правильная организация системы управления состоянием пути. Чтобы выбрать перспективную систему управления состоянием пути и стратегию организации технического обслуживания, необходимо ежегодно сравнивать показатели работы путевого хозяйства и делать выводы о дальнейшем состоянии и организации развития отрасли в целом.

Поэтому, целью статьи является сравнительный анализ состояния пути, его основных элементов и соответствие их требованиям в 2020 и 2021 годах, а также прогноз его развития на перспективу.

Основная часть. На сегодняшний день путевое хозяйство (по его роли и значению) продолжает превалировать среди основных служб, так как на него приходится более 50 % средств всей Белорусской железной дороги. По состоянию на 01.01.2022 путевое хозяйство дороги – это 11 719,8 км развернутой длины железнодорожных путей, из которых 7 227,3 км – главные, 3 620,5 км – станционные и 872,0 км – необщего пользования, более 12 тысяч стрелочных переводов, 1749 переезда, 4426 искусственных сооружений, в том числе 1913 мостов, 2467 труб, 46 пешеходных мостов. В сравнении с состоянием на 01.01.2021 показатели практически не изменились.

Как известно, мощность верхнего строения пути в значительной степени определяется состоянием рельсового хозяйства. В 2021 году по сравнению с 2020 г. по рельсовому хозяйству выполнено:

- восстановительного ремонта пути на новых материалах – 140,2 км против 167,0 км в 2020 г.;
- среднего ремонта – 88,2 км против 21,9 км;
- уложено плетей бесстыкового пути – 187,7 км против 228,9 км;
- заменено 152 комплектов стрелочных переводов против 239.

Также в 2021 году выполнены работы по сохранению 34,4 км рельсовых плетей. В 2020 году сохранены только 15,1 км рельсовых плетей.

На начало 2022 года имелось 22,6 км инвентарных рельсов на фронтах восстановительного ремонта пути на новых материалах и 112,4 км – на фронтах восстановительного ремонта пути на старогодних материалах.

В 2020 году на фронтах восстановительного ремонта пути на новых материалах инвентарных рельсов не имелось.

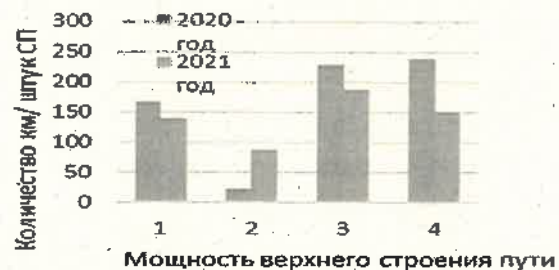


Рисунок 1 – Изменение в мощности верхнего строения пути в 2021 г. по сравнению с 2020 г.:

- 1 – восстановительный ремонт пути на новых материалах;
- 2 – средний ремонт; 3 – уложено плетей бесстыкового пути;
- 4 – заменено комплектов стрелочных переводов

В 2020 году за счет выполнения ремонтной программы и по фактическому состоянию пути почти на 350 км повышены скорости движения поездов. В 2021 г. благодаря ремонтной программе повышены скорости на 204,6 км, что составляет примерно 58 % от прошлого года.

В 2021 г. протяженность главного пути на железобетонном основании составляет 7094,0 км против 7 077,6 км, станционных – 2 365,3 км против 2407,8 км, бесстыковой путь уложен на 4812,9 км против 4 797,8 км в 2020 г. от протяженности главных путей.

В главных и приемо-отправочных путях уложено 3 607 комплектов стрелочных переводов на железобетонном основании, что на 2 % больше, чем в прошлом году. По состоянию на 1 января 2022 года количество километров со сверхнормативными сроками выполнения ремонтов составляет 694 км, или 9,6 %, от протяженности главных путей. На начало 2021 года количество таких километров составляло 545 км, или 7,5 %.

За 2021 год оценка состояния рельсовой колеи по дороге составила 17 баллов при плане в 37. В 2020 году при плане 41 балл – выполнение составило 20 баллов. Всеми отделениями дороги показатель балльной оценки улучшен.

Безопасность. В 2021 году по сравнению с 2020 годом количество событий, связанных с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта, уменьшилось на 2 случая. Всего допущено в 2021 году 8 случаев.

За 2021 год в сравнении с аналогичным периодом 2020 года количество дорожно-транспортных происшествий с участием железнодорожного подвижного состава увеличилось на 4 случая (11 случаев ДТП против 7 в 2020 году). В произошедших в 2021 году ДТП 5 человек травмировано (за аналогичный период 2020 года 1 человек погиб и 2 человека травмировано) (рисунок 2).

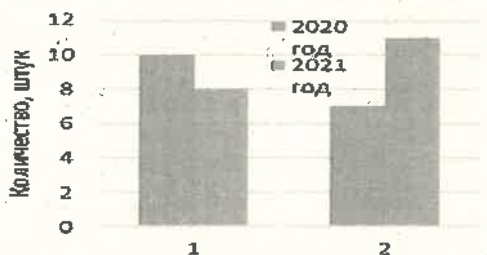


Рисунок 2 – События, связанные с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта:

1 – нарушение безопасности движения; 2 – дорожно-транспортные происшествия с участием железнодорожного подвижного состава

Все случаи столкновений на железнодорожных переездах, произошедшие в 2021 году, связаны с нарушениями водителями правил проезда через железнодорожные пути.

В 2021 году вагонами-путеизмерителями на главных путях выявлено 126 неудовлетворительных километров (в 2020 году – 31,0 км).

В 2021 году количество ограничений скорости из-за неисправностей пути увеличилось и составило 379 против 303 ограничений в 2020 году (рисунок 3).

За 12 месяцев 2021 года наплавочными комплексами восстановлено: 2350 концов рельсов при плане 2300 (за 2020 год – 2634); 644 крестовины при плане 450 (2020 год 562); аллотермитной наплавкой устранено 212 дефектов в рельсовых плетях при плане 4000 (за 2020 год – 856) (рисунок 4).

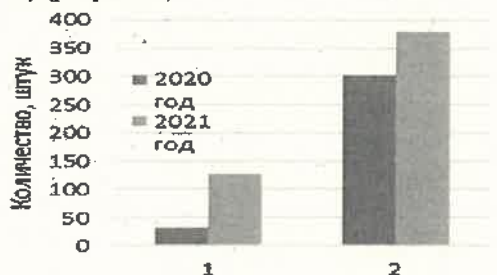


Рисунок 3 – Сравнение неудовлетворительных километров и неисправностей пути

Получено 18.04.2022

P. V. Kovtun, T. A. Dubrovskaya. Development of the track economy of the Belarusian Railway at the present stage.

The track facilities of the Belarusian Railways, together with other facilities, form a single infrastructure complex, which is the foundation of the transportation process. The track facilities account for more than 50 % of the fixed assets of the industry, and with the development of train speeds and the scientific progress of transport, its role is growing significantly. The normal functioning of the track facilities is a guarantee of the excellent work of the entire Belarusian Railway as a whole.



Рисунок 4 – Работа наплавочных комплексов:

1 – восстановлено концов рельсов;
2 – восстановлено крестовин стрелочных переводов;
3 – устранено дефектов аллотермитной наплавкой

Выводы. Таким образом, на основании проведенного анализа можно констатировать тот факт, что общее состояние путевого хозяйства позволяет успешно выполнять поставленные перед ним задачи по грузо- и пассажироперевозкам.

На протяжении последних лет усиливается мощность верхнего строения пути, повышаются скорости движения поездов и, как результат, улучшается балльная оценка, а также безопасность движения.

Тем не менее на протяжении 2020–2021 гг. наблюдается определенная неравномерность в выполнении главных показателей по ремонтным программам. Это обязывает путейцев в первую очередь использовать все имеющиеся ресурсы в части улучшения производственной дисциплины, поиска дополнительных резервов сроков службы элементов верхнего строения пути при помощи современных диагностических средств, комплексов и технологий, а также конструкций железнодорожного пути в целом и отдельных его элементов.

Кроме этого, немаловажным является совершенствование организационных основ ведения путевого хозяйства, приведение их к современным требованиям и формам.

Список литературы

- 1 Правила технической эксплуатации железной дороги в Республике Беларусь : утв. М-вом трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь 25.10.2015. – Минск, 2016. – 190 с.
- 2 Певзнер, В. О. Научные основы системы управления состоянием пути / В. О. Певзнер. – М. : РАС, 2018. – 272 с.
- 3 Ковтун, П. В. Анализ состояния и перспективы развития путевого хозяйства на Белорусской железной дороге / П. В. Ковтун, Т. А. Дубровская, В. А. Цариков // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2021. – № 2 (43). – С. 30–34.
- 4 СНБ 3.03.01–98 Железные дороги колеи 1520 мм. – Взамен СНиП II-39–76, СНиП III-38–75 и СН 468–74 ; введ. 01.08.1998. – Минск : М-во archit. и стр-ва Респ. Беларусь, 1998. – 39 с.
- 5 СТП 09150.56.010–2005. Текущее содержание железнодорожного пути. Технические требования и организация работ. – Введ. 29.06.2006. – Минск : Белорусская железная дорога, 2005. – 284 с.

УДК 625.1

В. В. РОМАНЕНКО, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; А. А. ЦЕНЯН, ГП «Институт "Белжелдорпроект"», В. Д. МАКАРЕВИЧ, Транспортное РУП «Минское отделение Белорусской железной дороги»

ОСОБЕННОСТИ, ТЕНДЕНЦИИ И ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА МЕТОДОЛОГИЮ УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ

Существующие условия эксплуатации объектов инфраструктуры на Белорусской железной дороге связаны с применением автоматизированной системы комплексной диагностики объектов инфраструктуры АСКД-И «ЭКСПЕРТ». Информация, получаемая с диагностических средств, является основной базой различных приложений, позволяющих оценить предотказные состояния геометрии рельсовой колеи, бесстыкового пути и земляного полотна. Вагоны-путеизмерители систематически обследуют, контролируют состояние и формируют комплексную оценку качества содержания и ремонта объектов с разработкой рекомендаций и мероприятий по обеспечению их эксплуатационной надежности. Мониторинг предоставляемой информации дает возможность осуществлять контроль за устранением дефектов и неисправностей, предписывать мероприятия и условия для их устранения.

Введение. На работу путевого хозяйства оказывает влияние ряд внешних и внутренних факторов, которыми на сегодняшний день обусловлена система организации текущего содержания железнодорожного пути (ТСП), включая проведение механизированных планово-предупредительных работ [1]. Оптимизация системы производится за счет совершенствования технологических процессов работы, применения ресурсосберегающих технологий, позволяющих при безусловном обеспечении надежного уровня безопасности движения поездов снизить трудо- и ресурсоемкость содержания путей [2].

Внедрение новых современных методических и аналитических подходов опирается на изменения условий эксплуатации железнодорожных путей, а именно повышение скоростей движения поездов и снижение грузонапряженности линий. Указанные факторы, а также наличие участков с просроченным ремонтом предполагает внесение периодических изменений в подходы к планированию ремонтных работ. Однако кроме работ, которые возможно запланировать, выполняют еще и неотложные (либо первоочередные), определяемые диагностикой геометрических параметров рельсовой колеи.

Еще одним фактором, влияющим на развитие системы ведения путевого хозяйства, является различие в сроках службы элементов верхнего строения пути, что также сказывается на планировании ремонтов и ТСП.

Внедрение на Белорусской железной дороге автоматизированной системы комплексной диагностики объектов инфраструктуры АСКД-И «ЭКСПЕРТ» позволяет формировать ряд отчетных документов, определяющих реальное положение бесстыкового пути исходя из комплексного показателя предотказного состояния.

АСКД-И «ЭКСПЕРТ» предназначена для сбора и накопления данных, получаемых с помощью вагонов-путеизмерителей, последующей обработки и аналитики показателей состояния объектов инфраструктуры для реальной оценки фактических геометрических параметров, а также планирования путеремонтных работ на их основе.

Таким образом, АСКД-И «ЭКСПЕРТ» является информационной базой для адресного планирования и назначения работ различного уровня с целью предупреждения наступления предотказного и неработоспособного состояний пути.

Обеспечение безопасности движения поездов в зависимости от состояния пути. Функциональные возможности АСКД-И «ЭКСПЕРТ» заключаются в автоматизации мониторинга за изменениями состояния геометрии рельсовой колеи с течением времени, планирования путеремонтных работ, контроля качества выполненных работ, а также оценки эффективности использования ресурсов и денежных средств, вложенных в ремонты и ТСП (согласно категориям пути, грузонапряженностям, установленным скоростям движения поездов и т. п.).

Жизненный цикл железнодорожного пути как любого из объектов предполагает различные стадии, которые сменяются с течением времени из-за нарастающих изменений в геометрии рельсовой колеи и ослаблении промежуточных скреплений.

Для оценки уровня безопасности пропуска поездов согласно [3] определяют следующие состояния:

- «исправное», характеризующееся отсутствием отступлений от норм и допусков его устройства и содержания;
- «работоспособное», которое, в отличие от предыдущего, допускает отклонения при условии обеспечения установленных скоростей;
- «частично работоспособное», характеризующееся наличием различных неровностей, размеры которых не превышают предельных значений на отдельных участках пути, но способны при этом вызвать ограничение скорости движения; устранение отступлений в плановом порядке;
- «предотказное» – наличие неровностей, которые по своим значениям близки к предельным, но не превышают порога возникновения отказа; накопление остаточных деформаций, которые ухудшают плавность движения поездов, что может привести к ограничению скорости движения поездов;
- «неработоспособное»; которое по наличию отступлений требует ограждения сигналами остановки до восстановления работоспособности участка пути.

Методика по контролю и оценке состояния бесстыкового пути. Одним из аналитических приложений АСКД-И «ЭКСПЕРТ» в части диагностики, оценки и мониторинга бесстыкового пути является приложение «Комплексный анализ предотказного состояния бесстыкового пути» КАПС БП.

На основе данных, получаемых по результатам проходов путеизмерительных средств диагностики, которые оборудованы подсистемами контроля устойчивости бесстыкового пути, для оценки устойчивости плетей температурно-напряженного типа с помощью КАПС БП определяется комплексный показатель предотказного состояния K_k [4]. Этот показатель характеризуется наличием температурных напряжений в плетях и является функцией, зависящей от ряда факторов:

$$K_k = f(K_{ут}; K_{пл}; K_{скр}; K_{бал.пр}; K_{неп.пл}; K_{зап.пл}). \quad (1)$$

Факторами, которые учитываются в функции (1), являются коэффициенты предотказного состояния, характеризующие устойчивость бесстыкового пути:

- при наличии угона рельсовых плетей ($K_{ут}$);
- в плане ($K_{пл}$);
- при нарушении состояния рельсовых скреплений ($K_{скр}$);
- при нарушении ширины плеча балластной призмы ($K_{бал.пр}$);
- при недозаполнении шпальных ящиков ($K_{неп.пл}$);
- при недозаполнении шпальных ящиков ($K_{зап.пл}$).

Для определения состояния пути, а также назначения мероприятий и сроков для исправления отступлений определенный K_k сравнивается с оценочными критериями в зависимости от установленных скоростей ($v_{уст}$), приведенными в таблице 1.

Таблица 1 – Оценочные критерии значений K_k

Исправное	Работоспособное	Значение показателя				Неработоспособное
		Частично работоспособное		Предотказное		
		$v_{уст} \leq 140$ км/ч	$v_{уст} > 140$ км/ч	$v_{уст} \leq 140$ км/ч	$v_{уст} > 140$ км/ч	
Менее 1,5	От 1,5* до 2,0	От 2,0* до 3,0	От 2,0* до 2,5	От 3,0* до 5,0	От 2,5* до 5	5 и более

* Включительно.

По результатам расчета K_k в приложении КАПС БП формируется следующая выходная информация:

- матрица ранжирования по комплексной оценке предотказного состояния бесстыкового пути;
- сводная ведомость по результатам комплексной оценки;
- оценка состояния бесстыкового пути по неподбитым шпалам;
- динамика развития комплексного показателя во времени.

Параметрическая оценка состояния бесстыкового пути. По результатам анализа сводной ведомости и комплексной оценки бесстыкового пути Минской дистанции пути за февраль 2022 года определено количество пикетов (рисунок 1), где показатель K_k превышает величину 2,0 (см. таблицу 1).



Рисунок 1 – Распределение пикетов согласно комплексной оценке предотказного состояния бесстыкового пути

Из пяти выделяемых состояний в данной ведомости учитываются частично работоспособное, предотказное и неработоспособное. Из диаграммы видно, что пикеты с оценкой состояния как «неработоспособное» в границах Минской дистанции пути отсутствуют.

Общее количество пикетов, в пределах которых состояние хуже «работоспособного», зафиксировано на 41-м пикете. На оценку состояния весомо влияет такой фактор, как план линии ($K_{пл}$), то есть положение рельсовых нитей в горизонтальной плоскости. Согласно системе оценки состояния рельсовой колеи и меры по обеспечению безопасности движения поездов по показаниям путеизмерительных вагонов [5] оценка рихтовок дается по каждой рельсовой нити в отдельности.

Путь в плане представляет собой прямолинейные и криволинейные участки пути, что непосредственно влияет на геометрические положения рельсовых нитей. В свою очередь, состояние кривых в плане зависит от величины радиуса. Как видно из рисунка 2, большая часть пикетов, приходящаяся на криволинейные участки пути, где состояние пути определено как частично работоспособное и предотказное, диагностирована на кривых с радиусом от 451–650 м.



Рисунок 2 – Распределение количества пикетов с показателем $K_k > 2,0$ на прямых и криволинейных участках в зависимости от радиуса

Показателем K_k от 2,0 до 4,0 состояние определяется как частично работоспособное, в то время как на одном пикете $K_k > 2,8$ и на четырех – $K_k > 2,9$, а именно пикет с $K_k = 2,85$ находится в кривой радиусом 565 м, два пикета с $K_k = 2,98$ – в кривой радиусом 660 м и два – в прямолинейном участке (K_k соответственно равен 2,96 и 2,94).

Показателем от 3,0 до 5,0 состояние определяется как предотказное, из трех пикетов один ($K_k = 3,04$) расположен в прямолинейном участке, второй ($K_k = 3,13$) – в кривой радиусом 600 м, третий ($K_k = 3,49$) – радиусом 645 м.

Таким образом максимальная величина показателя K_k для частично работоспособного состояния зафиксирована в кривой радиусом 660 м (2,98) и для предотказного (3,49) – радиусом 645 м.

Дальнейший анализ ведомости комплексной оценки показал, что на некоторых кривых частично работоспособное состояние зафиксировано неоднократно. Так, плеть, расположенная на 781 км, начинается на прямолинейном участке, продолжается в кривой радиусом 625 м и заканчивается прямолинейным участком. В этой кри-

вой показатель $K_k > 2,0$ определен трижды – по одному на каждый элемент плана.

Рельсовая плеть (787 км) расположена в кривой радиусом 660 м, в пределах которой $K_k > 2,0$ определен дважды и т. д.

Анализ мероприятий, направленных на возобновление работоспособности бесстыкового пути. На современном этапе эксплуатации бесстыкового пути приложение КАПС БП является приоритетным ввиду возможности обладать своевременной информацией о состоянии рельсовой колеи и ее мониторинга.

Мониторинг учитывает не только геометрическое положение рельсовой колеи, но и состояние рельсовых скреплений (оценивается соответствующим индексом, который зависит от типа скрепления и определяется разницей в ширине колеи, измеренной в сечениях с разной нагрузкой), состояние плеча балластной призмы и

степень заполнения шпальных ящиков (оценивается системой очертания верхнего строения пути), наличие неподбитых шпал (оценивается системой измерения геометрии рельсовой колеи). Все указанные показатели непосредственно связаны с условиями температурной работы бесстыкового пути. Температурная работа является основой жизненного цикла бесстыкового пути, так как температурой определяется длина плети, а соответственно, значения продольных температурных напряжений и возможность прогнозирования выброса. Изменение длины плетей контролируется величиной расхождения меток на «маячных» шпалах. Исходя из этого первоочередной работой, связанной с работоспособностью бесстыкового пути, является разрядка или регулировка температурных напряжений. Дальнейшие мероприятия зависят от степени неработоспособности (рисунок 3).



Рисунок 3 – Структура проведения мероприятий, направленных на возобновление работоспособности бесстыкового пути

Вывод. Исходя из изложенного при оценке устойчивости плетей бесстыкового пути учитываются данные, полученные при проходах диагностических средств, оборудованных следующими системами измерения:

- неровностей рельсовых нитей;
- сдвижек на «маячных» шпалах;
- геометрических размеров балластной призмы.

Помимо диагностирования состояния геометрических параметров конструкции пути для определения эксплуатационной надежности верхнего строения необходимо оценивать еще и нарушение расчетного напряженного состояния пути, которое может быть причиной нарушения устойчивости плети либо ее излома.

Так как в определении комплексного показателя предотказного состояния бесстыкового пути первоочередным является компонент, характеризующий устойчивость в плане, то большое внимание необходимо уделять криволинейным участкам пути с радиусами менее 650 м.

Для недопущения перехода пути из работоспособного состояния в частично работоспособное и далее необходимо при ТСП постоянно следить за затяжкой элементов скрепления, уровнем заполнения шпальных ящиков балластом, в том числе величиной плеча балластной призмы, степенью равнопрочности и равноупругости подшпального основания.

Список литературы

1 СТП БЧ 56.388–2018. Положение о системе ведения путевого хозяйства Белорусской железной дороги : утв. приказом зам. Нач. Бел. ж. д. от 17.12.2018 № 1072 НЗ. – Введ. 01.01.2019. – Минск : Белорусская железная дорога, 2018. – 27 с.

2 Об утверждении Концепции развития путевого хозяйства Белорусской железной дороги на 2022–2030 гг. : утв. приказом от 28.12.2021 № 404 Н. – Минск : Белорусская железная дорога, 2021. – 16 с.

3 Об утверждении Методики по расчету, оценке и прогнозу предотказного состояния рельсовой колеи : утв. приказом от 27.05.2019 № 473 НЗ. – Введ. 03.06.2019. – Минск : Белорусская железная дорога, 2019. – 18 с.

4 Об утверждении Методики по контролю и оценке состояния бесстыкового пути на основе данных, получаемых по результатам проходов путеизмерительных средств диагностики, оборудованных подсистемами контроля устойчивости бесстыкового пути : утв. приказом от 27.05.2019 № 471 НЗ. – Введ. 03.06.2019. – Минск : Белорусская железная дорога, 2019. – 34 с.

5 СТП БЧ 56.242-2012. Оценка состояния рельсовой колеи и меры по обеспечению безопасности движения поездов по показаниям путеизмерительных вагонов : утв. приказом зам. Нач. Бел. ж. д. от 20.12.2012 № 1290 НЗ. – Введ. 01.02.2013. – Минск : Белорусская железная дорога, 2013. – 42 с.

Получено 06.05.2022

V. V. Romanenko, A. A. Cenyana, V. D. Makarevich Features, trends and factors affecting the methodology of managing the condition of a seamless railway track.

The existing operating conditions of infrastructure facilities on the Belarusian Railway are associated with the use of the automated system of complex diagnostics of infrastructure facilities ASKD-I "EXPERT". The information obtained from diagnostic tools is the main base of various applications that allow us to assess the pre-failure conditions of the geometry of the rail track, the jointless track and the roadbed. Track measuring cars systematically inspect, monitor the condition and form a comprehensive assessment of the quality of maintenance and repair of facilities with the development of recommendations and measures to ensure their operational reliability. Monitoring of the information provided makes it possible to monitor the elimination of defects and malfunctions, prescribe measures and conditions for their elimination.

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 662.8.05

Б. М. ХРУСТАЛЕВ, академик НАН Беларуси, доктор технических наук, профессор, Белорусский национальный технический университет, г. Минск; А. Н. ПЕХОТА, кандидат технических наук, Р. Н. ВОСТРОВА, кандидат технических наук, Ю. А. ПШЕНИЧНОВ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО ТОПЛИВА В КОТЛАХ ПЕСКОСУШИЛЬНЫХ УСТАНОВОК ЛОКОМОТИВНЫХ ДЕПО

Рассмотрена технология многокомпонентного брикетирования горючих отходов, образующихся в локомотивных депо, с целью их применения в качестве твердого топлива в пескосушильных установках, обеспечивающих локомотивы наибольшей и устойчивой силы тяги по сцеплению. Приведены результаты исследований, на основе которых определены эффективные подходы к совершенствованию технологических схем, обеспечивающих производство твердого топлива.

Одним из технических требований обеспечения безопасности движения поездов в зимний период является необходимость применения песка в песочницах локомотивов. Песок на поверхности контакта движущихся колес и рельсов способствует реализации локомотивом наибольшей и устойчивой силы тяги по сцеплению. Самые лучшие условия сцепления локомотива с рельсами создает песок, однородный по размерам частиц 0,5–0,2 мм. В соответствии с нормами технологического проектирования сырой песок складировается на площадках с последующей сушкой в установках. Специализированные установки обеспечения сушки в ряде локомотивных депо Республики Беларусь и других стран работают на твердом топливе, которое приходится приобретать, при этом депо имеет множество горючих отходов, применение которых может обеспечить их использование для собственных нужд.

Образование горючих отходов в локомотивных депо обусловлено выполнением технологических операций при осуществлении обслуживания и различных видов ремонта подвижного состава, а также эксплуатацией различных видов промышленного оборудования и материалов.

Одним из распространенных горючих отходов являются углеводородсодержащие (УВС) отходы, которые образуются в виде нефтесодержащих шламов и остатков, а также их смесей, содержащих или насыщенных нефтепродуктами. Широкий диапазон значений показателей химического состава и физических свойств УВС отходов, присутствие в отходах механических примесей, серы, избыточное содержание воды зачастую требуют проведения детального анализа отходов и выполнения подготовительных мероприятий для использования их в качестве топлива [1].

К основным наиболее эффективным методам использования углеводородсодержащих отходов относятся сжигание и регенерация, а при добавлении их в составе многокомпонентного твердого топлива (МТТ) позволяет их эффективно сжигать, обеспечивая брикетируемую смесь связующим веществом и углеродом. Разработанная технология получения твердого многокомпонентного топлива позволяет использовать в качестве связующего компонента насыщенные нефтепродуктами опилки, ветошь, сорби-

рующие материалы, эмульсии нефтепродуктов, отработанные смазки, отходы очистки мазутных и нефтяных резервуаров, отходы нефтеловушек очистных сооружений.

В основе проведенных исследований лежит определение эффективности изменения подходов и совершенствование технологических схем производства твердого топлива методом брикетирования.

Для решения заданного алгоритма реализации данной научной задачи использовалась теория планирования эксперимента. При её реализации достигнуты такие условия, при которых получена достоверная информация об объекте и протекающих процессах с количественной оценкой точности метода и регрессионного анализа. Физически реализованные схемы подбора компонентного состава с различной долей нефтесодержащих отходов при различной влажности прессуемой массы в установке для получения МТТ показали, что на производительность P установки наибольшее влияние оказывает влажность смеси w и доля x нефтесодержащих веществ в формуемой смеси при одинаковом давлении p прессования и температуре T подаваемого сырья.

Среди основных факторов, оказывающих существенное структурообразующее действие, прежде всего, следует учитывать гранулометрический состав, геометрический профиль поверхности, влажность и условия смешивания компонентов, давление и температура прессования. Принцип подбора смеси частиц различной крупности заключается в создании структурной композиции, отвечающей наиболее плотной упаковке (рисунок 1).

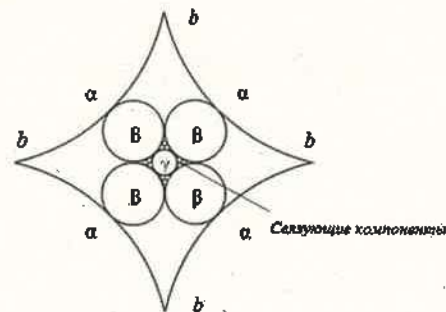


Рисунок 1 – Схема структуры с наиболее плотной (кубической) упаковкой частиц диаметрами α , β , γ и т. д. в смеси ТМТ

Четыре крупные частицы α условно рассматриваются как сферы, которые, касаясь друг друга в точках b , образуют фигуру в виде криволинейного ромба. Свободное пространство между частицами α заполняется зернами β . Далее пространство между частицами α и β заполняют зерна γ и т. д. Начиная с зерна α , размеры которого должны быть заданы, существует оптимальная пропорция между размерами частиц β и γ и т. д., при которой достигается наиболее плотная их упаковка. Оптимальное соотношение связующего компонента с частицами гранулометрического состава формируемого топлива позволяет обеспечивать наиболее плотную упаковку частиц в прессуемой смеси твердого многокомпонентного топлива.

Особенностью разработанной технологии получения МТТ является влажное брикетирование многокомпонентных смесей с использованием связующих компонентов в виде углеводородсодержащих отходов или специализированных веществ. При этом добавление связующего компонента или специализированного вещества при влажном брикетировании является обязательным (за исключением некоторых отходов) в силу того, что с их участием решается много технологических задач, которые обеспечивают:

- интенсивность адсорбции связующего вещества с брикетируемыми частицами;
- качественное формирование поверхности, формы, плотности и необходимых типоразмеров брикетов;
- возможность регулирования теплоты сгорания (с использованием нефтесодержащих компонентов, органических и комбинированных связующих веществ);
- создание необходимой интенсивности затвердевания и прочности брикета при сушке.

По результатам проведенных исследований разработаны многокомпонентные составы твердого топлива, которые прошли государственную регистрацию как технические условия ТУ ВУ 490319372.002-2021 «Топлива твердые многокомпонентные котельно-печные» в научно-производственном РУП «БелГИСС» от 20.12.2021 г. № 063905.

Применение оборудования и технологии брикетирования с учетом разработанных технических условий обеспечивает оптимальное соотношение компонентов, которое гарантирует наиболее полное сжигание используемых в нем горючих материалов с выделением заданных теплотехнических характеристик, учитывающих экологические требования к выбросам загрязняющих веществ.

Исследование энергетических характеристик. Первый и второй законы термодинамики, из которых следуют фундаментальные уравнения, были получены для закрытых систем. При изменении состояния закрытых систем массы компонентов и, следовательно, состав системы не изменяется. Поэтому термодинамические потенциалы простых закрытых систем являются функциями только двух переменных:

$$\begin{aligned} dU &= Tds - PdV; \quad dH = Tds + VdP; \\ dA &= -SdT - PdV; \quad dG = -SdT + VdP. \end{aligned} \quad (1)$$

На практике при создании многокомпонентных составов встречаются системы (или части сложной закрытой системы), в которых при протекании различных

процессов массы компонентов изменяются. Это может происходить, например, при фазовых превращениях или вследствие протекания химической реакции. При этом может изменяться состав как отдельных частей, так и системы в целом.

Поэтому внутренняя энергия (и другие термодинамические потенциалы) открытых систем будут изменяться не только за счет сообщения системе теплоты и произведенной системой работы, но и за счет изменения состава (массы) системы. Для открытых простых систем (без совершения системой полезной работы) характеристические функции будут функциями не только их двух естественных переменных, но и функциями числа молей всех веществ, составляющих систему:

$$\begin{aligned} U &= U(S, V, n_1, n_2, \dots, n_k); \\ P &= P(S, H, n_1, n_2, \dots, n_k); \\ A &= A(T, V, n_1, n_2, \dots, n_k); \\ G &= G(T, P, n_1, n_2, \dots, n_k), \end{aligned} \quad (2)$$

где n_1, n_2, \dots, n_k – число молей каждого вещества, входящего в систему.

Тогда полный дифференциал внутренней энергии открытой системы можно записать следующим образом:

$$\begin{aligned} dU &= \left(\frac{\delta U}{\delta S} \right)_{V, n_i} dS + \left(\frac{\delta U}{\delta V} \right)_{S, n_i} dV + \left(\frac{\delta U}{\delta n_i} \right)_{S, V, n_{j \neq i}} \\ & \quad dn_i + \dots + \left(\frac{\delta U}{\delta n_k} \right)_{S, V, n_{j \neq k}} dn_k, \end{aligned} \quad (3)$$

где индекс $n_j \neq i$ означает, что число молей других веществ, кроме данного, не изменяется.

Таким образом, химический потенциал компонента равен приращению характеристической функции системы при добавлении одного моля данного компонента при условии, что естественные переменные и состав системы остаются постоянными. Таким образом, для простых открытых систем фундаментальное уравнение термодинамики с учетом изменения энергии описанных правил фаз Гиббса можно записать в виде

$$dU = Tds - PdV + \sum_{i=1}^k \mu_i dn_i. \quad (4)$$

В формуле (4) каждое слагаемое можно рассматривать как произведение интенсивного свойства (обобщенной силы) на изменение экстенсивного свойства. Поэтому химический потенциал можно считать обобщенной силой, определяющей распределение масс компонентов в системе, что приводит к установлению в многокомпонентной гетерогенной системе фазового и химического равновесия.

Термодинамическая система МТТ, состоящая из различных по физическим или химическим свойствам частей компонентного состава, в период формирования будет относиться к гетерогенной системе с использованием связующих компонентов на основе преимущественно вязких веществ.

Наиболее простым и достаточно изученным источником связующего компонента являются углеводородсодержащие отходы [2–4, 6].

Применение МТТ в условиях сушки. В сушильных агрегатах на предприятиях с парком локомотивов до пяти единиц сухой песок хранится на складах башенного типа вместимостью 25 м³, состоящих из металлической башни и кирпичного подбашенного помещения. Для промышленных предприятий с большим локомо-

тивным парком применяют башенные склады вместимостью 50, 120 и 400 м³ сборной железобетонной конструкции, устанавливаемые на позиции экипировки. Склады предусматриваются двух типов: с наземным и подземным размещением оборудования, которое работает на привозном сухом песке, получаемом из пескосушилки экипировочного пункта. Сухой песок к раздаточным устройствам транспортируется пневматическим способом. Применяют установки выжимного типа и вентиляторные, действующие по принципу эжекции. Наибольшее распространение получили пескоподающие устройства выжимного типа. К числу их достоинств относится возможность транспортирования песка на значительные расстояния (до 200 м) по трубам сравнительно малого диаметра (51–76 мм), отделенным друг от друга поверхностями раздела. Вентиляторная система обеспечивает подачу песка на расстояние всего лишь 50–70 м по пескопроводу диаметром 125–150 мм.

Для удаления влаги из песка используют пескосушильные установки, как правило, в виде одинарных вращающихся барабанных устройств, в которые подается непрерывным потоком песок, а лопасти барабана осуществляют подъем и перевод песка во взвешенное состояние. Интенсивность взвеси в таких барабанах составляет 5–20 кг на 1 м³ объема барабана при скорости потока воздуха 0,4–0,9 м/с генерируемого твердотопливным котлом. Продвижение песка осуществляется наклоном вращающейся части барабана (рисунок 2).

В последние годы на данные барабаны стали устанавливать автоматику и утепление, а в современных версиях барабанов топочная часть заменяется дожигателями, что дает экономию энергоносителя 5–10 %. На данный момент при сушке песка расход твердого топлива составляет из расчета 0,0114 т у. т. на тонну песка, при этом расход условного топлива может изменяться в зависимости от влажности песка и условий хранения. Описанная конструкция с твердотопливным котлом имеет низкую себестоимость в производстве сушки при самых высоких эксплуатационных расходах по отношению к другим конструкциям.

В последние годы на данные барабаны стали устанавливать автоматику и утепление, а в современных версиях барабанов топочная часть заменяется дожигателями, что дает экономию энергоносителя 5–10 %. На данный момент при сушке песка расход твердого топлива составляет из расчета 0,0114 т у. т. на тонну песка, при этом расход условного топлива может изменяться в зависимости от влажности песка и условий хранения. Описанная конструкция с твердотопливным котлом имеет низкую себестоимость в производстве сушки при самых высоких эксплуатационных расходах по отношению к другим конструкциям.

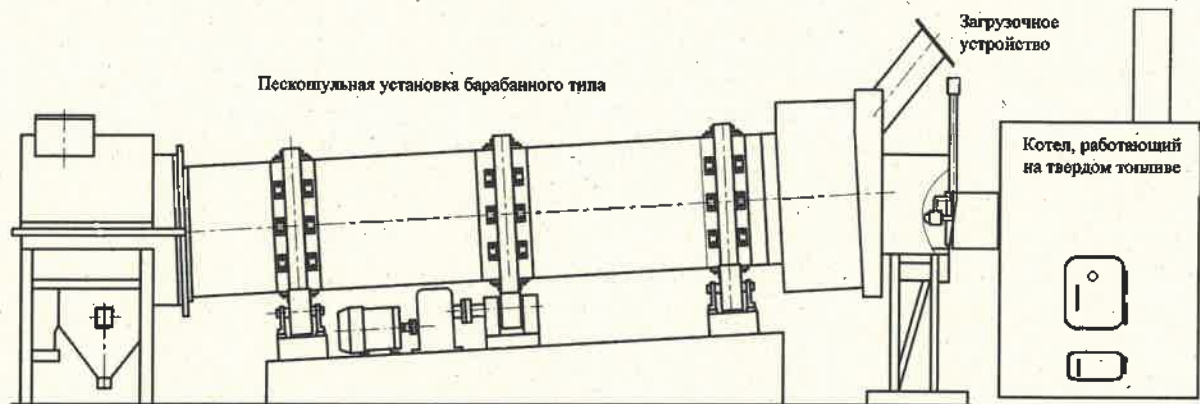


Рисунок 2 – Вид пескосушильной установки типа СОБУ, работающей на твердом топливе

Поскольку переход на альтернативное топливо твердотопливных котлов может оказаться нерациональным вследствие значительных капитальных вложений на модернизацию оборудования, в рамках научной работы, с учетом полученных данных по химическому составу различных марок топлива, их теплоте сгорания и выбросам загрязняющих веществ при сжигании, разработана математическая модель, позволяющая осуществлять подбор оптимального с экономической и экологической точек зрения состава двухкомпонентного топлива (опилки и углеводородсодержащие отходы).

Зависимость для безразмерной концентрации g выбросов в атмосферу при сжигании двухкомпонентного твердого топлива получена в виде

$$g(x_1) = \frac{0,1AF_{M_{\text{нмн}}}N}{H^2 \sqrt{V\Delta T} [Q_1 x_1 + Q_2 (1-x_1)] \eta_k} \times \quad (5)$$

$$\times [g_{11}(x_1) + g_{12}(x_1) + g_2(x_1) + g_3(x_1) + g_4(x_1)],$$

$$\text{где } g_{11}(x_1) = \frac{\beta_p}{C_{\text{мNO}_2}} \left(1 - \frac{q_{41}}{100}\right) x_1 Q_1 \times$$

$$\times \left[H_{1,r} K_{1,r} \alpha_T \sqrt{\left(1 - \frac{q_{41}}{100}\right) \frac{100N}{[Q_1 x_1 + Q_2 (1-x_1)] \eta_k} x_1 Q_1^3} \right];$$

$$g_{12}(x_1) = \frac{\beta_p}{C_{\text{мNO}_2}} (1-x_1) Q_2 \left[H_{2,r} K_{2,r} \alpha_T \sqrt{\frac{100N}{[Q_1 x_1 + Q_2 (1-x_1)] \eta_k} (1-x_1) Q_2^3} \right];$$

$$g_2(x_1) = \frac{20000}{C_{\text{мSO}_2}} [x_1 S_{1,r} + (1-x_1) S_{2,r}] (1-\eta_{1s}) (1-\eta_{2s});$$

$$g_3(x_1) = \frac{x_1 C_{1,\text{CO}} + (1-x_1) C_{2,\text{CO}}}{C_{\text{мCO}}};$$

$$g_4(x_1) = \frac{10000}{C_{\text{мPM}}} \left[x_1 (1-\eta_{1,c}) \left(\alpha_{1,ab} A_r + q_{1,ab} \frac{Q_1}{\tau} \right) + \right. \\ \left. + \frac{10000}{C_{\text{мPM}}} \left[(1-x_1) (1-\eta_{2,c}) \left(\alpha_{2,ab} A_r + q_{2,ab} \frac{Q_2}{\tau} \right) \right] \right],$$

где τ – безразмерная константа, $\tau = 32,68$.

Результаты расчета: $g(x_1) = 0,909$.

Полученные зависимости безразмерной концентрации g вредных выбросов от доли нефтесодержащих отходов (нефтешламов) x в брикетах для различных значений мощности N котельных установок представлены на рисунке 3.

Методика расчета и математическая модель для данной технологии построена с учетом регламентирующих требований, изложенных в ОНД-86, ТКП 17.08-01-2006 и ЭкоНиП 17.01.06-001-2017 [7–9], что позволяет определить безразмерную концентрацию выбросов однородных вредных веществ в атмосферу при сжигании твердого топлива, но с учетом химического состава двухкомпонентного топлива, а также

особенностей и условий эксплуатации энергоустановки (мощность, КПД, диаметр устья и высота трубы и т. п.) [2, 5, 7].

При этом математическая модель за счет суммирования вредного воздействия от каждого компонента позволяет определить приведенную концентрацию g , которая определяется как сумма безразмерных приземных концентраций каждого вредного вещества. Такой подход позволяет рассчитывать на этапе производства

оптимальный с энергетической и экологической точек зрения подбор компонентного состава топлива, что дает возможность использовать МТТ на энергоустановках без дополнительных экономических затрат.

Таким образом, получены уравнения, описывающие концентрации выбросов в зависимости от состава предложенного МТТ, и на их основе оптимизирован состав по экологической функции цели, в том числе при сжигании топлива в котельных.

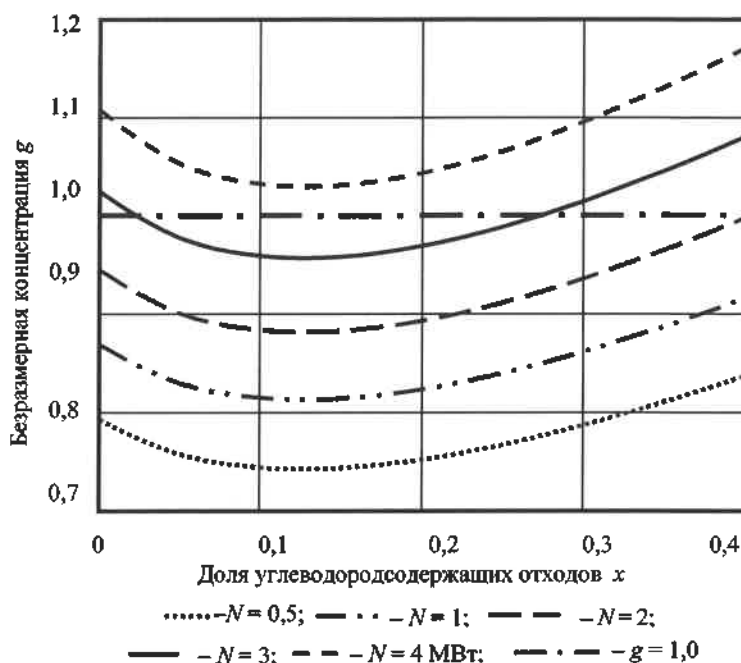


Рисунок 3 – Зависимость безразмерной концентрации g от доли компонента брикета x

Анализ результатов исследования. На основании полученных результатов теоретических и практических исследований и в соответствии с техническими нормативно-правовыми актами разработаны ТУ ВУ 490319372.002–2021, прошедшие согласование в установленном законодательством порядке. Анализ зольности, влаги, теплоты сгорания, содержания серы в процессе проведения испытаний с целью определения и контроля статистически достоверных результатов проводился в специализированных лабораториях на образцах с применением идентичных методов. Изготовленная промышленная партия, в целях оценки качественных показателей хранения, транспортировки, сжигания многокомпонентного твердого топлива с различными

соотношениями состава и параметрами плотности и влажности брикетов прошли испытания с участием аккредитованных лабораторий: «НИИ физико-химических проблем» БГУ (г. Минск), с использованием методов дифференциально-термического анализа в «Институте тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова НАН Беларуси» (г. Минск), с применением ИК-спектроскопии в «Институте ММПС им. В. А. Белого» НАН Беларуси (г. Гомель). При этом исследованию подверглись не только сбрикетированные многокомпонентные составы, но и зола, образующаяся от их сжигания. В таблице 1 представлены сравнительные характеристики элементных составов горючей массы различных видов топлива [7, 8].

Таблица 1 – Элементные составы горючей массы различных видов топлива

Вид топлива	Рабочий состав топлива (по массе), %					Теплота сгорания ккал/кг
	Углерод С	Кислород O ₂	Водород H ₂	Азот N ₂	Серя SO ₂	
МТТ с содержанием нефтешламов 25 %, W=15 %	61,42	31,05	6,43	0,33	0,77	4240
МТТ с содержанием смеси нефтепродуктов отработанных 30 %, W=16 %	58,88	36,09	4,56	0,20	0,27	4330
Дрова, W= 15 %	51,00	42,30	6,10	0,60	0,05	2500
Торф, W= 16 %	58,00	33,60	6,00	2,10	0,30	3600
RDF топливо** (нижнее и верхнее значение)	44–51	29–36	5–7	0,9–1,6	0,38–1,46	4100–4770
Топливный брикет RUF, W= 12 %	51,30	43,10	6,20	0,55	0,1	4100
Топливные гранулы, W= 7,7 %	50,67	43,90	6,10	0,68	0,05	4570
Топливный брикет Pinu-key, W= 9 %	51,70	41,90	6,30	0,60	0,05	4890

* Приведенные данные получены в аналитической лаборатории РУП «Белгослес». Аттестат аккредитации № ВУ/112 02.1.0.0417.
 ** Приведены данные из источника [2].

Технологическое объединение насыщенных по химическому составу углеводородсодержащих отходов позволило получить не только топливо с высокой калорийностью, но и высокий экономический эффект, который позволяет не только получать в качестве полезного результата прибыль, но и экономить ресурсы.

Экономический эффект от производства МТТ состоит в сокращении объемов отходов и расходов на их хранение, а также обеспечении тепловой энергией собственных потребностей предприятия, при этом стоит учитывать возможность получения дополнительной прибыли и от реализации топливных брикетов сторонним потребителям. Выполненный экономический расчет ожидаемого экономического эффекта, с учетом использования технических характеристик и стоимости оборудования, фактически необходимого соотношения различных используемых компонентов и других затрат, связанных с организацией производства топлива (без учета возведения здания), показал окупаемость создания таких производств в течение 28 месяцев при двухсменном режиме работы и производительности 6 тонн в смену.

Заключение. Новым аспектом в формировании представлений о перспективных направлениях эффективного использования вторичных сырьевых ресурсов является создание альтернативного твердого многокомпонентного топлива, позволяющего эффективно использовать вязкие углеводородсодержащие промышленные отходы. Разработанная технология и составы топлива позволяют получать энергоэффективное топливо с необходимыми тепло-техническими характеристиками, которое при системном подходе обеспечит экономию сырья, материалов и топливно-энергетических ресурсов, что является актуальной научно-технической задачей, решение которой имеет важное практическое значение для увеличения доли местных топливно-энергетических ресурсов, создания

стабильной сырьевой базы для энергетических установок, работающих на твердом топливе.

Список литературы

- 1 Охрана окружающей среды и природопользование. Отходы. Правила использования углеводородсодержащих отходов в качестве топлива : ТКП 17.11-01-2009. – Введ. 01.04.2009 (изм. 27.08.2010; 19.10.2012). – Минск : Минприроды, 2013. – 14 с.
- 2 Инженерная экология и очистка выбросов промышленных предприятий : учеб. пособие для вузов / Б. М. Хрусталева [и др.] ; под общ. ред. Б. М. Хрусталева. – Минск : Витно-стер, 2014. – 488 с.
- 3 Хрусталева, Б. М. Композиционное твердое топливо на основе вторичных горючих отходов / Б. М. Хрусталева, А. Н. Пехота // Энергоэффективность. – 2016. – № 4. – С. 18–22.
- 4 Хрусталева, Б. М. Технология эффективного использования углеводородсодержащих отходов в производстве многокомпонентного твердого топлива / Б. М. Хрусталева, А. Н. Пехота // Энергетика. Известия высш. учеб. заведений и энергетич. объединений СНГ. – 2016. – Т. 59, № 2. – С. 122–140.
- 5 Твердое топливо на основе отходов малоиспользуемых горючих энергоресурсов / Б. М. Хрусталева [и др.] // Наука и техника : Междунар. науч.-практ. журнал. – 2021. – № 1. – С. 58–65.
- 6 Пехота, А. Н. Определение эффективности параметров брикетирования и сушки многокомпонентных составов твердого топлива / А. Н. Пехота, Б. М. Хрусталева // Энергетическая Стратегия : науч.-практ. журнал. – 2022. – № 2. – С. 34–38.
- 7 Пехота, А. Н. Исследование термоаналитическими методами энергетических свойств брикетированного многокомпонентного топлива / А. Н. Пехота, С. А. Филагов // Энергетика. Известия высш. учеб. заведений и энергетич. объединений СНГ. – 2022. – Т. 65, № 2. – С. 143–155.
- 8 Пехота, А. Н. Многокомпонентное твердое топливо : [монография] / А. Н. Пехота. – Гомель : БелГУТ, 2021. – 243 с.

Получено 17.06.2022

B. M. Khrustalev, A. N. Pekhota, R. N. Vostrova, Yu. A. Pshenichnov. The use of multi-component fuel in boilers of sand-drying plants to ensure the safety of locomotive traffic.

The technology of multi-component briquetting of combustible waste generated in locomotive depots is considered with the aim of using them as solid fuel in sand-drying plants, providing locomotives with the greatest and most stable traction force for adhesion. The article discusses the results of research, on the basis of which effective approaches to the improvement of technological schemes that ensure the production of solid fuels are determined.

УДК 539.3

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

**ДИНАМИКА КОНСТРУКТИВНО НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ
«БАЛКА – ОСНОВАНИЕ» ПРИ ВНЕЗАПНОМ ОБРАЗОВАНИИ ТРЕЩИНЫ**

Рассматривается математическая модель динамического процесса в нагруженной балке Эйлера – Бернулли на упругом основании Винклера при внезапном образовании дефекта балки в виде открытой поперечной трещины. Получены зависимости, связывающие параметры напряженно-деформированного состояния балки с глубиной и локализацией трещины при заданных геометрических и механических характеристиках системы «балка – основание».

Введение. Внезапно образующаяся трещина в несущей статическую нагрузку балке, опирающейся на упругое основание, приводит к снижению общей жёсткости системы «балка – основание» и нарушению статического равновесия. Балка приходит в движение, в ходе которого перераспределяются и растут деформации и напряжения. При этом возможны нарушения работы системы, потеря несущей способности, частичное или полное разрушение. Целью данной работы является постановка и аналитическое решение проблемы возбуждения колебаний и их последствий в статически нагруженной системе «балка – основание», причиной которых явилось внезапное образование трещины, то есть внезапное изменение физической и расчётной схем.

В связи с практической важностью аналитических, численных и экспериментальных исследований по динамике несущих систем с трещинами полученные решения являются актуальными и интенсивно развивающимися. Образование дефекта типа трещины в структурном элементе ведёт к снижению жёсткости и, как следствие, к снижению собственных частот колебаний. Кроме того, может измениться характер распределения масс и демпфирующих свойств конструкции.

Постановка задачи.

1 Статическая задача изгиба защемленной по концам балки, опертой на упругое основание Винклера и нагруженной распределенной нагрузкой.

Упругая балка Бернулли – Эйлера с изгибной жесткостью EI опирается по всей длине L на упругое основание Винклера с коэффициентом жесткости K, защемлена по концам [1–3].

На внешние слои балки действует равномерно распределенная нагрузка интенсивности q и реакция основания.

В безразмерных переменных и параметрах

$$\xi = \frac{x}{L}; w_{st} = \frac{v}{L}; \bar{q} = \frac{qL^3}{EI}; \alpha = \sqrt[4]{\frac{KL^4}{4EI}}$$

статический изгиб балки определяется функцией [15]

$$w_{st} = \frac{\bar{q}}{4\alpha^4} (1 - K_4(\alpha\xi)) + w_0'' K_2(\alpha\xi) + w_0'' K_1(\alpha\xi), \quad (1)$$

где $K_i = K_i(\alpha\xi)$ ($i = 1...4$) – функции Крылова вида

$$K_1(\alpha\xi) = \frac{\sin\alpha\xi \cdot \operatorname{ch}\alpha\xi - \cos\alpha\xi \cdot \operatorname{sh}\alpha\xi}{4\alpha^3}$$

$$K_2 = K_1'; K_3 = K_2'; K_4 = K_3'; K_4' = -4\alpha^4 K_1;$$

$w_0''; w_0'''$ – начальные параметры (соответственно безразмерные изгибающий момент и поперечная сила в начале координат $\xi = 0$.) Начальные параметры w_0 и w_0' – соответственно прогиб и угол поворота сечения при $\xi = 0$ согласно условию задачи равны нулю.

Удовлетворяя условиям задачи на конце балки $\xi = 1$,

$$w_{st}(1) = w_{st}'(1) = 0, \quad (2)$$

найдем неизвестные параметры w_0'' и w_0''' из системы алгебраических уравнений

$$\begin{cases} w_0'' K_2(\alpha) + w_0''' K_1(\alpha) = \frac{\bar{q}}{4\alpha^4} (K_4(\alpha) - 1); \\ w_0'' K_3(\alpha) + w_0''' K_2(\alpha) = -\bar{q} K_1(\alpha). \end{cases}$$

На рисунке 1 приводятся эпюры безразмерных статических прогибов $w_{st}(\xi)$ (1) и изгибающих моментов $w_{st}''(\xi)$ для следующих исходных данных:

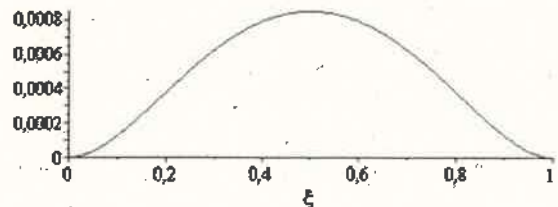
1) балка: материал – бетон, $E = 3,5 \cdot 10^{10}$ Н/м²; длина $L = 6,7$ м; поперечное сечение – прямоугольник с шириной $B = 0,25$ м и высотой $h = 0,18$ м; площадь $A = 0,045$ м²; осевой момент инерции $I = 1,125 \cdot 10^{-4}$ м⁴;

2) основание: материал – гравий, коэффициент жесткости $K = 7,5 \cdot 10^6$ Н/м³; коэффициент постели $K = KB = 1,875 \cdot 10^6$ Н/м³;

3) нагрузка: перпендикулярная оси балки, равномерно распределенная, безразмерной интенсивности $\bar{q} = 1$;

4) обобщенный параметр жесткости системы «балка – основание» $\alpha = 3,976$.

а)



б)

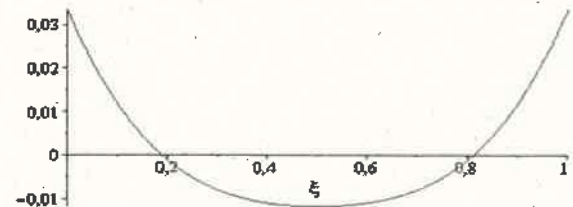


Рисунок 1 – Эпюры статического прогиба (а) и изгибающего момента w_{st}'' (б)

Далее решение статической задачи используется для формулировки начальных условий динамического процесса, вызванного внезапным образованием поперечной трещины в балке и для оценки динамических приращений деформаций и внутренних усилий в поврежденной системе «балка – основание».

Физической моделью балки, опертой на упругое основание и испытывающей изгибные колебания в результате внезапного трещинообразования, считаем конструкцию, которая состоит из двух балочных сегментов (соединены пружиной кручения, расположенной в сечении с трещиной $x = L_1$). Оба сегмента после образования трещины опираются на основание Винклера.

2 Динамическая задача изгибных колебаний балки, опертой на основание Винклера, возникающих после внезапного образования открытой поперечной трещины.

Поперечные перемещения $v_i = v_i(\xi_i, \tau)$ ($i = 1 \dots 2$) сечений сегментов определяются решением уравнений вынужденных колебаний сегментов:

$$\frac{\partial w_{i, \text{прн}}}{\partial \xi_i^4} + 4\alpha^4 \left(w_{i, \text{прн}} + \frac{\partial w_{i, \text{прн}}}{\partial \tau^2} \right) = \bar{q};$$

$$\xi_i = \frac{x_i}{L}; w_{i, \text{прн}} = \frac{v_i}{L}; \tau = \omega_0 t; \omega_0 = \sqrt{\frac{K}{\rho A}},$$

где x_i, ξ_i – осевая размерная и безразмерная координаты; $v_i, w_{i, \text{прн}}$ – размерный и безразмерный прогиб сечения; t, τ – размерное и безразмерное время; ρ – плотность материала балки; ω_0 – условная частота – параметр системы «балка – основание», имеющий размерность частоты.

2.1 Собственные изгибные колебания балки с открытой поперечной трещиной.

Поскольку сегменты поврежденной балки, образующиеся после внезапного образования трещины, отличаются только длиной: 1-й сегмент – длиной $v = L_1/L$, 2-й сегмент – длиной $(1-v)$, уравнение их собственных колебаний имеет вид

$$\frac{\partial^4 w_{i, \text{прн}}}{\partial \xi_i^4} + 4\alpha^4 \left(w_{i, \text{прн}} + \frac{\partial^4 w_{i, \text{прн}}}{\partial \tau^2} \right) = 0. \quad (4)$$

Решение уравнения (2.2) ищем, полагая колебания гармоническими и разделяя переменные представлением

$$w_{i, \text{прн}}(\xi_i, \tau) = \bar{W}_i(\xi_i) \sin \bar{\omega} \tau, \quad (5)$$

где $\bar{\omega}$ – искомая относительная частота, отнесенная к относительной условной частоте, $\bar{\omega} = \frac{\bar{\omega}}{\omega_0}$, $\bar{\omega}_0$ – искомая

частота, отнесенная к эталонной частоте, $\bar{\omega}_0 = \frac{\omega}{\omega_0}$,

$\omega_0 = \frac{1}{L^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho A}}$; $\bar{\omega}_0 = \frac{\omega_0}{\omega_0}$ – условная частота, отнесенная к

ω_0 . Далее в качестве обобщенной жесткости системы «балка – основание» удобно использовать безразмер-

ную условную частоту $\bar{\omega}_0$ вместо параметра α , они связаны между собой соотношением

$$4\alpha^4 = \frac{\omega_0^2}{EI/L^4 \rho A} = \left(\frac{\omega_0}{\bar{\omega}_0} \right)^2 = \bar{\omega}_0^2.$$

Подстановка представления (5) в уравнение (4) дает уравнение форм собственных колебаний сегментов

$$W_i^{IV} - (\bar{\omega}^2 - \bar{\omega}_0^2) W_i = 0. \quad (6)$$

Применяя к (6) подстановку Эйлера

$$W_i = A e^{r \xi_i},$$

получим характеристическое уравнение

$$r^4 - (\bar{\omega}^2 - \bar{\omega}_0^2) = 0, \quad (7)$$

его корни

$$r_{1,2} = \pm \beta_1; r_{3,4} = \pm i \beta_1; \beta_1 = \sqrt[4]{\bar{\omega}^2 - \bar{\omega}_0^2}$$

и функцию прогибов

$$W_i(\beta_1 \xi_i) = W_{0i} R_4(\beta_1 \xi_i) + W'_{0i} R_3(\beta_1 \xi_i) + W''_{0i} R_2(\beta_1 \xi_i) + W'''_{0i} R_1(\beta_1 \xi_i), \quad (8)$$

где

$R_j = R_j(\beta_1 \xi_i)$ ($j = 1 \dots 4$) – функции Крылова вида

$$R_1(\beta_1 \xi_i) = \frac{\text{sh} \beta_1 \xi_i - \sin \beta_1 \xi_i}{2\beta_1^3}; R_2 = R'_1;$$

$$R_3 = R'_2; R_4 = R'_3; R'_4 = \beta_1^4 R_1;$$

$W_{0i}, W'_{0i}, W''_{0i}, W'''_{0i}$ – начальные параметры i -го сегмента ($W_{0i} = W'_{0i} = 0$).

Последовательно дифференцируя прогиб (8), получим остальные кинематические и силовые факторы: угол поворота сечения $W'_i(\beta_1 \xi_i)$, изгибающий момент $W''_i(\beta_1 \xi_i)$, и поперечную силу $W'''_i(\beta_1 \xi_i)$. Теперь состояние произвольного сечения ξ_i сегмента можно представить матричным уравнением

$$\bar{W}_i = V_1(\xi_i) \bar{W}_{0i}, \quad (9)$$

где $\bar{W}_i(\beta_1 \xi_i) = \{ \bar{W}_i(\beta_1 \xi_i) W'_i(\beta_1 \xi_i) W''_i(\beta_1 \xi_i) W'''_i(\beta_1 \xi_i) \}^T$ – вектор состояния произвольного сечения ξ_i i -го сегмента;

$\bar{W}_{0i} = \{ W_{0i} W'_{0i} W''_{0i} W'''_{0i} \}^T$ – вектор начальных параметров i -го сегмента;

$$V_1(\xi_i) = \begin{pmatrix} R_4(\beta_1 \xi_i) & R_3(\beta_1 \xi_i) & R_2(\beta_1 \xi_i) & R_1(\beta_1 \xi_i) \\ \beta_1^4 R_4(\beta_1 \xi_i) & R_4(\beta_1 \xi_i) & R_3(\beta_1 \xi_i) & R_2(\beta_1 \xi_i) \\ \beta_1^4 R_2(\beta_1 \xi_i) & \beta_1^4 R_1(\beta_1 \xi_i) & R_4(\beta_1 \xi_i) & R_4(\beta_1 \xi_i) \\ \beta_1^4 R_3(\beta_1 \xi_i) & \beta_1^4 R_2(\beta_1 \xi_i) & \beta_1^4 R_1(\beta_1 \xi_i) & R_4(\beta_1 \xi_i) \end{pmatrix}$$

является функциональной матрицей влияния начальных параметров i -го сегмента на состояние произвольного сечения ξ_i этого сегмента.

В формулах (8) четыре начальных параметра 2-го сегмента ($W_{02}, W'_{02}, W''_{02}, W'''_{02}$) выражаются из условий сопряжения сегментов через два неизвестных начальных параметра (W'_{01}, W''_{01}) 1-го сегмента. Последние определяются из граничных условий на конце $\xi_2 = 1 - \nu$:

$$W_2(1 - \nu) = W'_2(1 - \nu) = 0. \quad (10)$$

Условия сопряжения сегментов означают непрерывность в сечении с трещиной $\xi_1 = \nu (\xi_2 = 0)$ функций прогибов

$$W_1(\nu) = W_2(0), \quad (11)$$

изгибающих моментов

$$W'_1(\nu) = W'_2(0), \quad (12)$$

и поперечных сил

$$W''_1(\nu) = W''_2(0). \quad (13)$$

Взаимный поворот двух сегментов, соединенных пружиной кручения с жесткостью K_T , вызывает изгибающий момент в сечении $\xi_1 = \nu (\xi_2 = 0)$

$$EIW''_1(\nu) = K_T L (W'_2(0) - W'_1(\nu)). \quad (14)$$

В матричной форме условия сопряжения сегментов (2.9)–(2.12) представляют собой зависимость вектора начальных параметров \bar{W}_{02} 2-го сегмента от вектора состояния $\bar{W}_1(\nu)$ сечения $\xi_1 = \nu$

$$\bar{W}_{02} = E_{12} \bar{W}_1(\nu), \quad (15)$$

$$\text{где } E_{12} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \Theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

$$\Theta = \frac{EI}{K_T L}; \quad \bar{W}_1(\nu) = V_1(\nu) \bar{W}_{01}.$$

Теперь состояние произвольных сечений обоих сегментов выражается через два начальных параметра 1-го сегмента:

$$\begin{aligned} \bar{W}_1(\xi_1) &= V_1(\beta_1 \xi_1) \bar{W}_{01}, \\ \bar{W}_2(\xi_2) &= V_1(\beta_1 \xi_2) E_{12} V_1(\beta_1 \nu) \bar{W}_{01}, \end{aligned} \quad (16)$$

где $\bar{W}_{01} = \{0 \quad 0 \quad W''_{01} \quad W'''_{01}\}^T$.

Из уравнения (16) находим прогиб $\bar{W}_2(\xi_2)$ и угол поворота $\bar{W}'_2(\xi_2)$ произвольного сечения ξ_2 2-го сегмента:

$$\begin{aligned} W_2(\beta_1 \xi_2) &= S_{11}(\xi_2) W''_{01} + S_{12}(\xi_2) W'''_{01}; \\ W'_2(\beta_1 \xi_2) &= S_{21}(\xi_2) W''_{01} + S_{22}(\xi_2) W'''_{01}, \end{aligned} \quad (17)$$

где $S_{11}(\xi_2) = R_4(\beta_1 \xi_2) R_2(\beta_1 \nu) + R_3(\beta_1 \xi_2) R_5(\beta_1 \nu) + R_2(\beta_1 \xi_2) R_4(\beta_1 \nu) + \beta_1^4 R_1(\beta_1 \xi_2) R_1(\beta_1 \nu);$

$$S_{12}(\xi_2) = R_4(\beta_1 \xi_2) R_1(\beta_1 \nu) + R_3(\beta_1 \xi_2) R_6(\beta_1 \nu) + R_2(\beta_1 \xi_2) R_3(\beta_1 \nu) + R_1(\beta_1 \xi_2) R_4(\beta_1 \nu);$$

$$S_{21}(\xi_2) = \beta_1^4 (R_1(\beta_1 \xi_2) R_2(\beta_1 \nu) + R_2(\beta_1 \xi_2) R_1(\beta_1 \nu)) + R_4(\beta_1 \xi_2) R_5(\beta_1 \nu) + \beta_1^4 R_3(\beta_1 \xi_2) R_4(\beta_1 \nu);$$

$$S_{22}(\xi_2) = \beta_1^4 R_1(\beta_1 \xi_2) R_1(\beta_1 \nu) + R_1(\beta_1 \xi_2) R_6(\beta_1 \nu) + R_3(\beta_1 \xi_2) R_3(\beta_1 \nu) + R_2(\beta_1 \xi_2) R_4(\beta_1 \nu);$$

$$R_5 = R_3(\beta_1 \nu) + \Theta R_4(\beta_1 \nu);$$

$$R_6 = R_2(\beta_1 \nu) + \Theta R_3(\beta_1 \nu).$$

Удовлетворяя граничным условиям (10), получим систему однородных алгебраических уравнений относительно неизвестных начальных параметров W''_{01} и W'''_{01} :

$$\begin{cases} S_{11}(1 - \nu) W''_{01} + S_{12}(1 - \nu) W'''_{01} = 0; \\ S_{21}(1 - \nu) W''_{01} + S_{22}(1 - \nu) W'''_{01} = 0. \end{cases}$$

Приравняв определитель этой системы к нулю, получим частотное уравнение

$$S_{11}(1 - \nu) S_{22}(1 - \nu) - S_{12}(1 - \nu) S_{21}(1 - \nu) = 0. \quad (18)$$

Частотное уравнение (18), получаемое для принятой модели балки с дефектом в виде поперечной трещины, содержит два параметра, характеризующих дефект: без-

размерную локальную гибкость $\Theta = \frac{EI}{K_T L}$ в сечении с трещиной и локализацию трещины $\nu = \frac{L_1}{L}$. В работах

[16, 17] жесткость пружины кручения K_T предлагается

рассчитывать по формуле $K_T = \frac{1}{c}$, $c = \frac{5,346}{EI} J(\chi)$,

где функция $J = J(\chi)$ относительной глубины трещины $\chi = \frac{a}{h}$ имеет вид

$$J(\chi) = 1,86\chi^2 - 3,55\chi^3 + 16,37\chi^4 - 37,23\chi^5 + 76,8\chi^6 - 126,5\chi^7 + 172\chi^8 - 143\chi^9 + 44,05\chi^{10}.$$

Тогда гибкость Θ определяется формулой

$$\Theta = 5,346 J(\chi) \frac{h}{L}, \quad (19)$$

где $\frac{h}{L}$ – удлинение балки.

Численные результаты.

Результаты расчетов двух первых относительных частот $\bar{\omega}_1 = \bar{\omega}_1(\chi, \nu)$ и $\bar{\omega}_2 = \bar{\omega}_2(\chi, \nu)$ собственных изгибных колебаний балки как функций относительной

глубины трещины $\chi = \frac{a}{h}$ и относительного расстояния ν сечения с трещиной от левой заделки по модели (19) приведены на рисунке 2. Расчеты проводились для бал-

ки удлинения $\frac{h}{L} = \frac{0,18}{6,7} = 0,027$ и обобщенной жесткости системы «балка – основание» $\alpha = 3,976$.

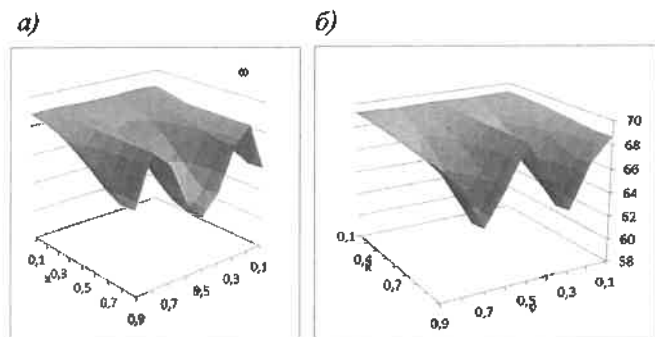


Рисунок 2 – Графики функций $\tilde{y}_1 = \tilde{y}_1(x, \nu)$ (а) и $\tilde{y}_2 = \tilde{y}_2(x, \nu)$ (б)

Ввиду симметрии условий опирания оба графика симметричны относительно середины балки (плоскость $\nu = 0,5$). Анализ графиков приводит к следующим выводам:

- наличие трещины в балке снижает первые две собственные частоты по сравнению с частотами бездефектной балки;
- снижение частот тем больше, чем глубже трещины, однако имеются сечения, образование трещины в которых практически не влияет на частоту. Это сечения $\nu = 0,25; 0,75$ для первой частоты и сечения $\nu = 0; 0,5; 1$ – для второй;

Получено 31.03.2021

A. A. Poddubny, V. A. Gordon. Dynamics of a structurally nonlinear "beam – base" system with sudden formation of cracks.

A mathematical model of the dynamic process in a loaded Euler – Bernoulli beam on an elastic Winkler foundation is considered, with a sudden formation of a beam defect in the form of an open transverse crack. Relationships are obtained that connect the parameters of the stress-strain state of the beam with the depth and localization of the crack for given geometric and mechanical characteristics of the "beam – base" system.

– снижение первой частоты интенсивнее при приближении трещины к середине балки, снижение второй частоты – при приближении к опоре.

Вывод. Построена математическая модель динамики конструктивно нелинейной системы взаимодействующих балки и основания. Разработан аналитический метод расчёта характеристик динамического процесса, инициируемого трещинообразованием, внезапно изменяющим расчётную схему конструкции. Метод связывает уровни динамических приращений деформаций и внутренних усилий с характеристиками дефекта – глубиной и локализацией трещины. Результаты работы позволяют использовать полученные методики в справочных данных для принятия конкретных конструктивно-технологических решений, для выработки норм и стандартов на проектирование, возведение и эксплуатацию конструкций и сооружений.

Список литературы

- 1 Поддубный, А. А. Определение динамических догрузений стержня, вызванных внезапной осадкой части основания Пастернака при перемещении шагающих робототехнических комплексов / А. А. Поддубный, В. А. Гордон // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2021. – № 2(43). – С. 47–50.
- 2 Poddubny, A. A. Dynamic Loading of the Rod at a Sudden Change of Elastic Foundation Structure / A. A. Poddubny, V. A. Gordon // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2021. – Vol. 1079. – P. 1–18.
- 3 Гордон, В. А. Собственные изгибные колебания балки, частично опертой на основание Пастернака / В. А. Гордон, Г. А. Семенова // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2020. – № 1 (339). – С. 34–42.

УДК 691.32 : 624.012.45/46

А. А. ВАСИЛЬЕВ, кандидат технических наук, Ю. К. КАБЫШЕВА, В. А. ДОЛЯ, Н. А. ЛЕОНОВ, магистранты, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

АНАЛИЗ ПРЕДЕЛЬНОЙ ВЕЛИЧИНЫ КАРБОНИЗАЦИИ БЕТОНА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ БЕТОНА ПО ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ

Показана необходимость исследования граничных значений карбонизации бетона. Предложена характеристика предельной величины карбонизации бетона (показателя ПВК) и приведена методика ее определения для цементно-песчаной фракции бетона. Выполнены расчеты показателя ПВК и приведены математические зависимости показателя ПВК от количества использованного цемента для бетонов различных классов по прочности на сжатие, бездобавочных смесей марок по удобоукладываемости П1–П5 и Ж1–Ж4 для отпусковой прочности бетона на сжатие 70 %. Выполнен анализ зависимости показателя ПВК от состава бетона.

Введение. Карбонизация бетона является основным видом коррозии бетона железобетонных элементов (ЖБЭ) и конструкций (ЖБК), эксплуатирующихся в различных воздушных средах [1–3]. Развиваясь во времени, она нейтрализует бетон, снижая (до полной потери) защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре, что создает условия для возникновения и развития коррозии стальной арматуры. Интенсивность коррозии стальной арматуры обуславливает скорость снижения несущей способности ЖБЭ (ЖБК). Таким образом, карбонизация бетона определяет долговечность ЖБЭ и ЖБК, эксплуатирующихся в различных атмосферных условиях [3].

Карбонизацию бетона оценивают и прогнозируют на базе 1-го закона Фика, используя индикаторный (фенолфталеиновый) тест (ФФТ). Степень карбонизации определяется количеством поглощенного углекислого газа воздуха (CO_2) [1].

По результатам многолетних исследований в работах [4–10] показано, что карбонизация бетона не развивается линейно, по всему фронту, и, соответственно, не подчиняется 1-му закону Фика. Ее развитие происходит по сложной экспоненциальной зависимости и ее необходимо исследовать, оценивать и прогнозировать в соответствии со 2-м законом Фика. При карбонизации бетона происходит образование карбонатов (CaCO_3), поэтому ее предложено оценивать показателем КС (карбонатной составляющей), характеризующей количественное содержание карбонатов в цементно-песчаной фракции бетона в массовых процентах в исследуемой пробе. Данный показатель позволяет оценивать влияние роста карбонатов на изменение показателя рН (водородного показателя водной вытяжки цементного камня) являющегося основной количественной характеристикой перерождения цементного камня в карбонаты либо другие продукты химического взаимодействия под воздействием внешней среды и являющегося универсальной характеристикой состояния бетона и его защитных свойств по отношению к стальной арматуре [1–3]. Для определения показателя КС разработан экспресс-метод [11].

Постановка задачи. В прочностных и деформационных расчетах ЖБЭ (ЖБК), для любой группы предельных состояний, принимают (определяют) класс бетона по прочности на сжатие. При этом априори считается, что физико-механические, химические свойства, соответственно, долговечность бетонов различных составов (для одного класса бетона по прочности на сжатие) будут одинаковы.

Карбонизация бетона продолжается в течение всего времени эксплуатации железобетона, однако для различных составов бетона максимальные значения карбонатной составляющей будут отличаться. Граничные значения карбонизации будут зависеть от количества использованного цемента и степени гидратации цемента (α) [12].

Для определения карбонизируемости бетонов различных составов необходимо определять и сравнивать предельные величины карбонизации в зависимости от содержания цемента.

Основная часть. Максимальную карбонизируемость бетона предложено оценивать предельной величиной карбонизации (ПВК) [3]. ПВК характеризует содержание карбонатов в бетоне в массовых процентах при условии, что весь СаО цемента полностью перейдет в CaCO_3 ($\alpha = 1$). Значения ПВК зависят от состава бетона и определяются по известной массе каждого компонента бетонной смеси.

Показатель ПВК предложено определять для цементно-песчаной фракции бетона по следующей методике [3]:

- рассчитывать массу СаО (m_{CaO}) в цементе для приготовления 1 м³ бетона:

$$m_{\text{CaO}} = m_{\text{ц}} k, \quad (1)$$

где $m_{\text{ц}}$ – масса цемента, используемая для приготовления 1 м³ бетона; k – коэффициент, определяющий процентное содержание СаО в цементе;

- определять массу CaCO_3 (m) при карбонизации m_{CaO} в 1 м³ бетона из пропорции

$$\begin{aligned} M_{\text{CaO}} - M_{\text{CaCO}_3}; \\ m_{\text{CaO}} - m_{\text{CaCO}_3}; \\ m_{\text{CaCO}_3} = \frac{m_{\text{CaO}} M_{\text{CaCO}_3}}{M_{\text{CaO}}}, \end{aligned} \quad (2)$$

где M_{CaO} – молекулярная масса СаО (56 г/моль, или 56 кг); M_{CaCO_3} – молекулярная масса CaCO_3 (100 г/моль, или 100 кг); m_{CaO} – масса СаО в 1 м³ бетона;

- рассчитывать массу цементно-песчаной фракции $m_{\text{цп}}$, кг, в 1 м³ бетона с учетом привеса за счет полного превращения СаО в CaCO_3 :

$$m_{\text{цп}} = 1,15Ц + П + (m_{\text{CaCO}_3} - m_{\text{CaO}}), \quad (3)$$

где Ц – масса цемента, кг, в 1 м³ бетона; П – масса песка, кг, в 1 м³ бетона;

- вычислять значение ПВК, %, из пропорции

$$m_{\text{цп}} - 100 \%,$$

$$m_{\text{CaCO}_3} - \text{ПВК},$$

$$\text{ПВК} = \frac{m_{\text{CaCO}_3} \cdot 100}{m_{\text{цп}}} \quad (4)$$

Для оценки состава бетона на его максимальную карбонизируемость определяли значения ПВК для различных классов бетона по прочности на сжатие ($C^8/10 - C^{50}/60$) для бездобавочных составов смесей, марок по удобоукладываемости П1–П5 (ОК = 1...25 см) и Ж1–Ж4 (5–40 с) для каждой марки по удобоукладываемости.

Составы на каждый класс бетона по прочности на сжатие рассчитывали на основании многофакторного метода, предложенного профессором В. В. Бабицким.

Для исследований принят портландцемент ПЦ 500 ДО ОАО «Белорусский цементный завод» ($k = 0,66$).

Для каждого класса бетона по прочности на сжатие исследовалось по 65 составов для отпускной прочности, равной 70 %. Таким образом, было исследовано 975 составов.

На рисунке 1 приведены области значений ПВК для состава на класс бетона по прочности на сжатие $C^{40}/50$, для смесей П1–П5 (ОК = 1...25 см) и Ж1–Ж4 (5–40 с).

Результаты исследований и анализа областей значений ПВК и полученной зависимости представлены в таблицах 1 и 2.

В общем виде выражение зависимости ПВК от количества использованного цемента (состава бетона)

$$\text{ПВК} = k_1 \text{Ц} + k_2, \quad (5)$$

где k_1 – коэффициент, определяющий минимальное значение ПВК, $\frac{\% \cdot \text{м}^3}{\text{кг}}$, k_2 – коэффициент прироста значений ПВК, %.

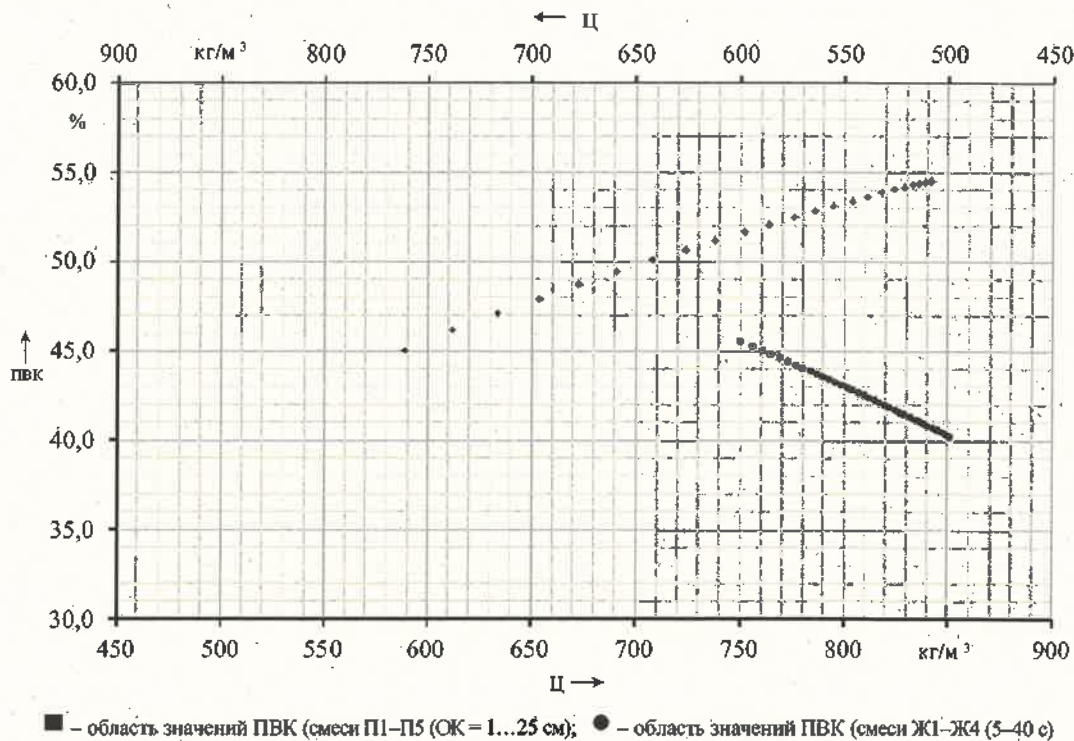


Рисунок 1 – Область значений ПВК для бездобавочного бетона класса по прочности на сжатие $C^{40}/50$ (смеси П1–П5 (ОК = 1...25 см) и Ж1–Ж4 (5–40 с)) и отпускной прочности на сжатие 70 %

Таблица 1 – Результаты исследования ПВК для составов бетонных смесей марок по удобоукладываемости П1–П5

Класс бетона по прочности на сжатие	Зависимость ПВК = f(Ц)	Коэффициент детерминации, R ²	Предел значений Ц, кг/м ³	Предел значений ПВК, %	Среднее значение ПВК, % для марки по удобоукладываемости				
					П1	П2	П3	П4	П5
$C^8/10$	0,0883 Ц + 2,791	0,9953	133–181	13,57–17,63	14,24	15,84	16,93	17,45	17,64
$C^{10}/12,5$	0,0781 Ц + 4,132	0,9960	165–224	16,76–21,47	17,52	19,39	20,66	21,30	21,49
$C^{12}/15$	0,0747 Ц + 5,324	0,9962	195–265	19,60–24,94	20,47	22,54	23,98	24,70	24,95
$C^{16}/20$	0,0683 Ц + 7,677	0,9973	252–343	24,60–30,92	25,59	28,03	29,76	30,61	30,91
$C^{18}/22,5$	0,0662 Ц + 8,549	0,9985	279–385	26,77–33,90	27,83	30,41	32,34	33,44	33,87
$C^{20}/25$	0,0644 Ц + 9,359	0,9987	306–428	28,79–36,76	29,89	32,73	35,08	36,26	36,72
$C^{22}/27,5$	0,0619 Ц + 10,39	0,9987	331–471	30,61–39,40	31,81	35,16	37,61	38,85	39,35
$C^{25}/30$	0,0592 Ц + 11,60	0,9987	357–513	32,40–41,81	33,84	37,40	39,95	41,24	41,77
$C^{28}/35$	0,0536 Ц + 14,22	0,9988	418–599	36,29–46,19	37,77	41,50	44,18	45,55	46,13
$C^{30}/37$	0,0509 Ц + 15,53	0,9981	441–632	37,64–47,55	39,14	42,91	45,62	46,94	47,48
$C^{32}/40$	0,0468 Ц + 17,75	0,9971	476–682	39,58–49,46	41,12	44,92	47,60	48,88	49,40
$C^{35}/45$	0,0410 Ц + 21,10	0,9964	533–763	42,49–52,22	44,02	47,83	50,40	51,64	52,16
$C^{40}/50$	0,0364 Ц + 24,09	0,9959	589–842	45,02–54,53	46,55	50,29	52,78	54,00	54,48
$C^{45}/55$	0,0326 Ц + 26,79	0,9958	644–919	47,27–56,55	48,75	52,39	54,84	56,01	56,49
$C^{50}/60$	0,0293 Ц + 29,32	0,9956	697–995	49,25–58,28	50,70	54,26	56,63	57,77	58,22

Таблица 2 – Результаты исследования ПВК для составов бетонных смесей марок по удобоукладываемости Ж1–Ж4

Класс бетона по прочности на сжатие	Зависимость ПВК = f(LD)	Коэффициент детерминации, R ²	Предел значений Ц, кг/м ³	Предел значений ПВК, %	Среднее значение ПВК, % для марки по удобоукладываемости			
					Ж1	Ж2	Ж3	Ж4
C ⁸ / ₁₀	0,1197 Ц – 2,345	0,9997	116–135	11,54–13,82	13,53	12,89	12,26	11,75
C ¹⁰ / _{12,5}	0,1142 Ц – 2,067	0,9999	144–168	14,37–17,09	16,73	15,95	15,21	14,60
C ¹² / ₁₅	0,1091 Ц – 1,660	0,9998	170–198	16,88–19,94	19,55	18,68	17,86	17,17
C ¹⁵ / ₂₀	0,0983 Ц – 0,178	0,9998	220–256	21,43–24,97	24,54	23,52	22,56	21,75
C ¹⁸ / _{22,5}	0,0935 Ц + 0,683	0,9999	243–284	23,39–27,19	26,71	25,66	24,66	23,78
C ²⁰ / ₂₅	0,0886 Ц + 1,713	0,9999	266–311	25,27–29,23	28,73	27,63	26,57	25,66
C ²² / _{27,5}	0,0845 Ц + 2,620	0,9998	289–337	27,03–31,07	30,57	29,43	28,35	27,42
C ²⁵ / ₃₀	0,0806 Ц + 3,620	0,9998	310–364	28,60–32,94	32,35	31,10	29,99	29,03
C ²⁸ / ₃₅	0,0724 Ц + 6,079	0,9997	353–426	31,59–36,84	36,21	34,76	33,33	32,11
C ³⁰ / ₃₇	0,0695 Ц + 7,030	0,9997	373–449	32,90–37,18	37,55	36,09	34,60	33,42
C ³² / ₄₀	0,0650 Ц + 8,665	0,9996	403–485	34,81–40,13	39,51	38,05	36,59	35,34
C ³⁵ / ₄₅	0,0587 Ц + 11,22	0,9997	451–543	37,66–43,04	42,42	40,94	39,49	38,21
C ⁴⁰ / ₅₀	0,0531 Ц + 13,78	0,9994	499–600	40,21–45,56	44,96	43,49	42,05	40,76
C ⁴⁵ / ₅₅	0,0484 Ц + 16,18	0,9993	545–656	42,47–47,80	47,18	45,74	44,30	43,03
C ⁵⁰ / ₆₀	0,0441 Ц + 18,52	0,9993	591–711	44,53–49,78	49,17	47,74	46,33	45,09

Анализ полученных данных показывает, что для одного класса бетона по прочности на сжатие для малопрочных бетонов, бездобавочных составов с подвижностью смеси П1–П5 значения ПВК отличаются на 4–6 %, с подвижностью смеси Ж1–Ж4 – на 2–4 %; для среднепрочных – соответственно на 8–10 и 4–5 %.

Заключение. Результаты исследований показывают, что для составов бетона одного класса по прочности на сжатие предельная карбонизируемость значительно отличается, соответственно, будет отличаться и долговечность как бетона, так и ЖБЭ (ЖБК). Это обязательно нужно учитывать при проектировании ЖБЭ и ЖБК. Необходимо, применяя рекомендуемые марки по подвижности, учитывать состав бетона и использовать как минимум средние значения ПВК для каждой марки смеси по удобоукладываемости.

Список литературы

- 1 Васильев, А. А. Карбонизация и оценка поврежденности железобетонных конструкций : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 263 с.
- 2 Васильев, А. А. Карбонизация бетона (оценка и прогнозирование) : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 303 с.
- 3 Васильев, А. А. Оценка и прогнозирование технического состояния железобетонных конструкций с учетом карбонизации бетона : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 215 с.
- 4 Васильев, А. А. Модель карбонизации бетона в атмосферных условиях / А. А. Васильев // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2009. – № 12. – С. 69–82.
- 5 Васильев, А. А. Совершенствование методов оценки технического состояния железобетонных элементов, эксплуатиру-

ющихся в условиях атмосферной агрессии / А. А. Васильев // Строительная наука и техника. – 2012. – № 2 (41). – С. 21–28.

6 Васильев, А. А. Математическая расчетно-экспериментальная модель начальной карбонизации бетона / А. А. Васильев, Д. Н. Шевченко // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2016. – № 2 (33). – С. 176–179.

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

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

9 Васильев, А. А. О необходимости разработки национального нормативного документа по оценке карбонизации бетона / А. А. Васильев // Вопросы внедрения норм проектирования и стандартов Европейского союза в области строительства : сб. науч.-техн. ст. – Минск : БНТУ, 2013. – С. 40–54.

10 Васильев, А. А. Совершенствование оценки и прогнозирования технического состояния железобетонных элементов и конструкций, эксплуатирующихся в различных атмосферных условиях / А. А. Васильев // Проблемы современного бетона и железобетона : сб. науч. тр. – Минск, 2017. – Вып. 9. – С. 148–167.

11 Васильев, А. А. Экспресс-метод определения карбонатной составляющей цементно-песчаной фракции бетона (показателя КС) / А. А. Васильев // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2021. – № 1 (42). – С. 94–97.

12 Васильев, А. А. Оценка предельной величины карбонизации бетона / А. А. Васильев, Ю. К. Кабышева, Н. А. Леонов // SCIENCE AND EDUCATION: PROBLEMS AND INNOVATIONS : сб. ст. VIII Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза : Наука и просвещение, 2021. – С. 22–25.

Получено 07.04.2022

A. A. Vasilyev, Yu. K. Kabysheva, V. A. Dolya, N. A. Leonov. Analysis of the limit value of concrete carbonation for different classes of concrete by compressive strength.

The necessity of examination of boundary values of concrete carbonation is shown. The characteristic of the limit value of concrete carbonisation (PVC index) is proposed and the method of its determination for cement-sand fraction of concrete on is presented. Calculations of PVC index were made and mathematical dependencies of PVC index on quantity of used cement for concretes of various classes on compression strength, non-addition mixtures of grades on ease of laying P1–P5 and G1–G4 for tempering strength of concrete 70 % are given. Analysis of PVC index dependence on concrete composition was performed.

УДК 621.314

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

ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ТРАНСФОРМАТОРОВ И ТЕХНОЛОГИЯ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Рассмотрены методы диагностики различных дефектов трансформатора и способ их классификации с помощью сверточных нейронных сетей. Применение данных нейронных сетей позволит в режиме реального времени анализировать информацию, классифицировать различные отклонения и диагностировать дефекты. Организованный таким образом диагностический контроль имеет своей целью предотвращение аварийного отказа оборудования, определения его состояния и прогнозирование остаточного ресурса. Использование сверточных нейронных сетей в режиме реального времени позволяет классифицировать различные отклонения, диагностировать виды предаварийного и аварийного состояния.

Сложившаяся к настоящему времени ситуация в системе энергообеспечения потребителей электрической энергией, как у нас в стране, так и за ее пределами, характеризуется следующими тенденциями:

- увеличением номенклатуры эксплуатируемого электрического оборудования и повышением требований к экономичности, надежности, экологичности;

- «старением» трансформаторного оборудования (более 60 % трансформаторов, установленных в распределительных сетях, эксплуатируются 25 лет и более [1]). В связи с этим появляется важная задача – переход от планово-предупредительного ремонта оборудования к системе технического обслуживания на основе оценки его фактического состояния, который позволит сделать проводимый ремонт более целесообразным и технически обоснованным.

Определение фактического состояния оборудования основано на измерении значений контролируемых параметров, которые либо сравниваются с аварийными уровнями, либо нейронная сеть сигнализирует о предаварийном состоянии. Такой диагностический контроль имеет своей целью предотвращение аварийного отказа оборудования, определения его состояния и прогнозирование остаточного ресурса.

Поэтому сегодня актуальной задачей становится управление состоянием эксплуатируемого оборудования и прогнозирование его состояния на относительно

длительный период. Также применение сверточных нейронных сетей позволит контролировать состояние трансформаторов в режиме реального времени, не выводя их из работы, что предоставляет дополнительные возможности в обеспечении низкого уровня безаварийности и соблюдения режимов бесперебойного электропитания и сопровождается, как правило, значительными экономическими издержками или реальным ущербом для потребителей.

Данная технология распространяется на однофазные трансформаторы с воздушным охлаждением, используемые в цепях автоматической блокировки и продольного железнодорожного электроснабжения. Оборудование наиболее целесообразно подключать в систему электроснабжения, содержащую большое количество таких трансформаторов, сосредоточенных на небольшой площади (горка, станция, горловина и т. д.). Особенно актуально применять данную диагностическую систему при наличии трансформаторов, у которых срок службы составляет более 15 лет.

Опишем основное оборудование, архитектуру операционной системы диагностического комплекса и технологию ее применения.

Для идентификации неисправностей в трансформаторе было разработано микропроцессорное устройство (рисунок 1).



Рисунок 1 – Внешний вид микропроцессорного устройства

Данное устройство включает следующее оборудование: датчики; часы реального времени; модернизированный под микропроцессорное устройство пробник Паздникова; платы Z7-Lite 7010.

В качестве датчиков применяются следующие.

1 Датчик температуры MLX90614ESF (более трех). Это инфракрасный термометр для бесконтактных измерений температуры. Датчик измеряет температуру объекта бесконтактным способом и температуру

окружающей среды на кристалле датчика. Термометр поставляется с заводской калибровкой и цифровым выходом SMBus с разрешением 0,02 °C. Можно настроить цифровой выход на режим широтно-импульсной модуляции для непрерывной передачи измеренной температуры в диапазоне от -20 до 120 °C с разрешением 0,14 °C [2].

2 Датчик температуры, давления и влажности BME280.

3 Энергометры PZEM-004t-100A (шесть). Данный энергометр позволяет измерять переменные ток, напряжение, активную мощность, электроэнергию, частоту.

4 Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) ADS1115. Это 16-разрядный аналогово-цифровой преобразователь с четырьмя выходами для преобразования аналогового сигнала в цифровой. АЦП используется для подключения к микропроцессорному устройству газовых датчиков.

Часы реального времени DS3231 помимо отчета времени могут сохранять его при отключении основного питания при использовании резервного питания.

Пробник Паздникова (рисунок 2 [3]) предназначен для проверки обмоток трансформаторов, дросселей, электродвигателей, реле, магнитных пускателей, контакторов и других катушек. Пробником определяют не только целостность обмотки, но и наличие в ней корот-

козамкнутых витков. Кроме того, пробник может быть использован для проверки проводимости полупроводников и исправности переходов диодов и транзисторов.

В качестве основы микропроцессорного устройства использовалась плата Z7-Lite 7010. Это программно-аппаратная платформа, предназначенная для приема, анализа, хранения и передачи информации. На данной платформе был разработан одноплатный компьютер, который принимает информацию с датчиков, обрабатывает и анализирует ее и затем выводит на экран через локальную сеть получившиеся результаты.

Основой данной платы служит программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС) XCZCLG400-1. Для данной интегральной схемы в САПР Vivado 2018.3 был разработан блок-дизайн программной части микропроцессорного устройства (рисунок 3).

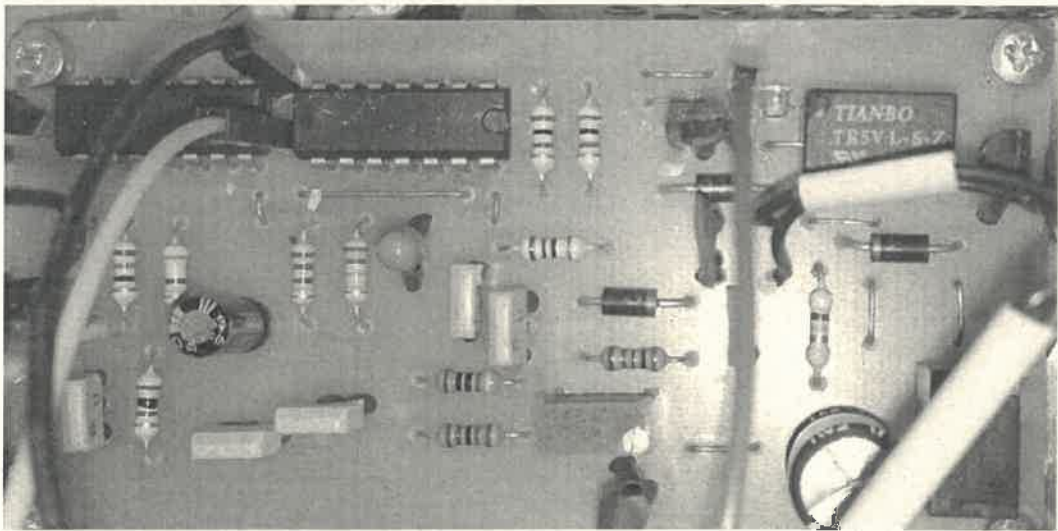


Рисунок 2 – Пробник Паздникова

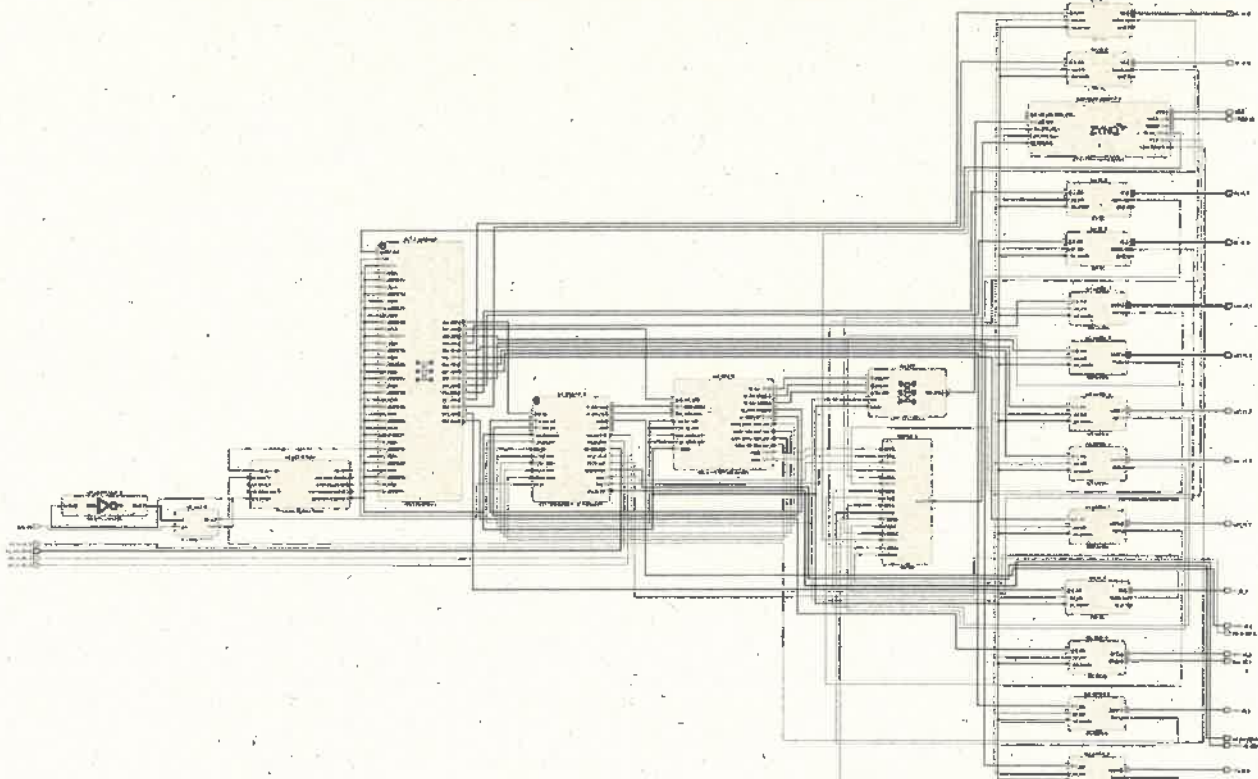


Рисунок 3 – Блок-дизайн программной части для микропроцессорного устройства

Данный блок состоит из нескольких ядер, каждое из которых отвечает за строго определенную задачу.

Софт-процессорное ядро (the processing system IP) является процессором для данного микропроцессорного устройства. Это программный интерфейс системы обработки, который состоит из интегрированной системы обработки (PS) и блока программируемой логики (PL), обеспечивая расширяемое и гибкое решение на одном кристалле. В данном ядре происходит обработка и анализ информации с датчиков.

К ядрам axi_uartlite_1 – axi_uartlite_6 подключаются энергометры, а все остальные датчики и дисплей подключаются к ядрам axi_iic.

Ядро axi_gpio используется для подключения клавиатуры и пробника Паздникова к микропроцессорному устройству.

Для передачи и приема данных по локальной сети используется связка ядер axi_ethernet и axi_dma.

Для регулирования потоков информации между вышеописанными ядрами и софт-процессорным ядром используется ядро AXI Interconnect.

Таблица 1 – Измеряемые параметры процессов в компонентах трансформаторов

Компонент	Неисправности	Возможные методы измерений и (или) измеряемые параметры	Необходимость отключения
1 Выводы	1.1 Проблемы с контактами	Измерение сопротивления, анализ гармоник	+
	1.2 Механическая деформация		+
2 Изоляция обмоток	2.1 Наличие влаги в твердой изоляции	Измерение емкости, тангенса угла потерь на разной частоте с помощью RLC-метра	+
	2.2 Старение, повышенная влажность		+
	2.3 Частичные разряды		+
3 Обмотки	3.1 КЗ между обмотками или витками	Измерение коэффициента трансформации, температуры, отношений токов и напряжений	-
	3.2 КЗ на землю	Измерение емкости, тангенса угла потерь, полного сопротивления и тока намагничивания	При включении
	3.3 Механическая деформация	Измерение емкости, тангенса угла потерь, полного сопротивления и реактивного тока намагничивания, анализ гармоник	+
4 Сердечник	4.1 Механическая деформация	Измерение емкости, тангенса угла потерь, контроль уровня вибрации	-
	4.2 КЗ пластин сердечника	Ток холостого хода, потери холостого хода, анализ гармоник	+
	4.3 Остаточная намагниченность	Ток холостого хода, потери холостого хода, анализ гармоник, размагничивание	+
	4.4 Ослабление креплений магнитопровода	Ток холостого хода, потери холостого хода и уровня вибрации	-
5 Наличие посторонних объектов	5.1 Появление грызунов или птиц	Видеофиксация	-

Приведем пояснения наиболее значимых измерений, во многом основанных на анализе современных диагностических систем [4].

1 Измерение емкости и коэффициента мощности или тангенса угла.

Потери в диэлектрике вызывают фазовый сдвиг. Значения tgδ для сухой изоляции трансформатора ниже, чем для влажной.

По результатам измерений емкости и коэффициента мощности/тангенса угла диэлектрических потерь можно оценить состояние изоляции силовых трансформаторов вводов. Эти две системы изоляции крайне важны для обеспечения стабильной работы трансформатора.

На основе блок-дизайна была разработана операционная система, использующая ядро Linux 5.15.

Также дополнительно проводилось осциллографирование и разложение по гармоникам кривых тока и напряжения.

На основе RLC-метра определялись параметры обмоток трансформатора.

Видеокамерой отслеживалась в режиме реального времени ситуация в трансформаторной подстанции на наличие посторонних – отправляя сигнал при обнаружении людей на территории ТП и РП, грызунов и птиц.

Технология применения комплекса диагностического оборудования.

В таблице 1 представлены измеряемые параметры процессов в компонентах трансформаторов для определения их неисправностей в процессе экспериментальных исследований, которые затем передаются на входы нейронных сетей и аналитической системы. Данный материал позволяет без отключения трансформатора не только однозначно указать развивающийся процесс развития неисправности, но и классифицировать ее.

Высокая электропроводность масла, износ материала и увеличение влагосодержания свидетельствуют об ухудшении свойств изоляции. Эти симптомы также ведут к увеличению потерь, которые можно определить, измерив коэффициент мощности/тангенс угла диэлектрических потерь.

Изменение значений емкости указывает на возможный пробой изоляции между обкладками. Измеряя емкость и потери, можно выявлять износившуюся изоляцию до того, как случится отказ.

Измерения производятся на изоляции между обмотками и на изоляции между обмотками и магнитопроводом. Обмотки закорачиваются, и на одну из них подает-

ся испытательное напряжение. Ток через изоляцию измеряется на противоположной обмотке или сердечнике.

Коэффициент рассеяния вычисляется через тангенс угла δ между измеренным значением тока и идеальным значением тока, который протекал бы при отсутствии потерь. Коэффициент мощности – косинус угла ϕ , или $\cos\phi$, между выходным напряжением и измеренным значением тока.

Использование частот, отличных от частоты сети, повышает чувствительность измерения, так как многие проблемы сначала проявляются на таких частотах.

Повышение емкости на 10 %, по сравнению с результатами предыдущих измерений, обычно считается тревожным симптомом для высоковольтных вводов. Это означает, что часть изоляции повреждена, а оставшаяся изоляция подвергается слишком высокой нагрузке напряжением.

2 Измерение сопротивления обмоток постоянному току и проверка.

Измерение сопротивления обмотки выполняют для того, чтобы проверить наличие потенциальных повреждений обмоток или проблем с контактами, соединяющими, например, вводы с обмотками и т. д. Сопротивление определяют по результатам измерения тока и падения постоянного напряжения. Обычно пользуются одним из двух распространенных способов проведения испытания: статическим либо динамическим измерением сопротивления обмотки.

Результаты измерения сопротивления обмоток постоянному току не должны отличаться более чем на 1 % от эталонного измерения. Кроме того, разница между фазами обычно составляет менее 2–3 %.

При сравнении результатов измерений сопротивления обмоток следует учитывать поправку на температуру. Обычно эталонная температура составляет 20 или 75 °С.

Обнаруженные обрывы цепи можно перепроверить измерением коэффициента трансформации, а проблемы с контактами – анализом частотного отклика.

3 Измерение коэффициента трансформации.

Коэффициент трансформации по соотношению витков измеряется для проверки основной функции силового трансформатора. Измерения коэффициента трансформации и фазового угла между обмотками позволяют обнаруживать обрывы цепи и короткие замыкания в витках.

Коэффициент трансформации измеряется во время приемочных испытаний, и затем его следует регулярно проверять в рамках планового обслуживания.

Результаты измерения сравниваются с данными в паспортной табличке и показателями по остальным фазам. В соответствии со стандартами IEC 60076-1 и IEEE C57.152 полученные результаты не должны отличаться от номинального коэффициента более чем на 0,5 %.

На результаты измерения могут отрицательно повлиять такие факторы, как намагниченность сердечника и отсутствие подключения к заземлению. Поэтому очень важно убедиться, что сердечник размагничен, а каждая обмотка должным образом заземлена.

Чтобы подтвердить или опровергнуть наличие выявленных проблем, при подозрении короткого замыкания дополнительно выполняется измерение тока намагничивания, при подозрении обрыва цепи – измерение сопротивления обмотки постоянному току.

4 Измерение тока намагничивания.

Ток намагничивания измеряется для оценки состояния межвитковой изоляции обмоток, магнитной цепи трансформатора.

Особенно ценной является возможность выявлять межвитковые замыкания в обмотках. Физическое смещение пластин или серьезное повреждение сердечника может повлиять на показатели магнитного сопротивления и изменить значение тока намагничивания. Изменения в значениях этого параметра могут также свидетельствовать об износе контактов.

Измерение тока намагничивания выполняется без нагрузки. Переменное напряжение подается на одну (обычно первичную) обмотку понижающего трансформатора, а противоположная сторона остается разомкнутой. Амплитуда тока, протекающего в первичной обмотке, прямо пропорциональна энергии, которая требуется для возбуждения трансформатора, т. е. для индуктирования напряжения на вторичной обмотке.

Значения для идентичных фаз не должны отличаться друг от друга более чем на 5–10 %.

5 Измерение частотной характеристики потерь рассеяния для уточнения наличия коротких замыканий между параллельными проводниками.

Испытание состоит в измерении активной составляющей импеданса КЗ на различных частотах. Это единственное электрическое испытание, позволяющее выявлять короткие замыкания между параллельными проводниками и участки нагрева вследствие чрезмерных потерь на вихревые токи.

По результатам измеренного значения тока, напряжения и угловой погрешности вычисляется резистивная составляющая импеданса КЗ при дискретных частотах в диапазоне 15–400 Гц.

Поскольку на высоких частотах больше потерь на вихревые токи, рост резистивной составляющей легко заметить при наложении результатов на диапазон частот.

Анализ результатов отображается в графическом виде и включает сравнение данных пофазных измерений и с результатами предыдущих измерений. Поскольку величина потерь на вихревые токи зависит от частоты, рост импеданса заметен по всему диапазону частот.

Это повышение должно быть одинаковым для всех трех фаз, отображаясь в виде плавной экспоненциальной кривой. Отклонения в пределах 3 %, особенно на высоких частотах, могут быть признаком коротких замыканий параллельных проводников.

6 Измерение тока и потерь холостого хода.

Ток и потери холостого хода при малом напряжении измеряются с целью выявления возможных замыканий магнитопровода на корпус трансформатора, замыканий в магнитопроводе, а также витковых замыканий в обмотках. Испытание проводится в соответствии с ГОСТ 3484.1–88.

Данное испытание проводится одним из первых, так как позволяет сразу же оценить состояние всей электромагнитной системы трансформатора в целом. Испытание рекомендуется проводить при том же напряжении, что и при испытаниях на заводе-изготовителе. Со временем происходит старение межлистовой изоляции, что приводит к увеличению потерь холостого хода по сравнению с заводскими данными. По динамике изменений можно оценить степень старения магнитопровода.

7 Гармонический анализ.

Анализ частотного отклика используется для выявления механических или электрических повреждений в обмотках, контактах или сердечниках трансформаторов. Сдвиг или деформация обмоток могут возникнуть, например, в результате коротких замыканий.

Силовые трансформаторы могут быть представлены как сложная электрическая сеть емкостей, индуктивностей и резисторов. Каждая электрическая сеть имеет уникальную частотную характеристику. Синусоидальное напряжение с непрерывно увеличивающейся частотой подается на один конец обмотки трансформатора, и измеряется ответный сигнал на другом конце обмотки. Сравнение входного и выходного сигналов дает уникальную частотную характеристику, которую можно сопоставить с эталонными данными.

Если исходные данные не доступны, для сравнения можно воспользоваться результатами испытания аналогичного трансформатора.

8 Анализ диэлектрического отклика.

Анализ диэлектрического отклика применяется для оценки содержания влаги в целлюлозной изоляции и, соответственно, определения ее состояния.

Влага проникает в трансформаторы вследствие старения бумажно-масляной изоляции либо из-за нарушенной герметичности. Это повышает вероятность пробоя изоляции и ускоряет ее старение.

Для оценки состояния этой изоляции выход прибора подключается к высоковольтной обмотке, а вход – к низковольтной. Коэффициент мощности/тангенс угла диэлектрических потерь такой изоляции измеряется в широком диапазоне частот. Полученная в результате кривая отображает данные о состоянии изоляции.

На предельно низких частотах собирается информация о влажности твердой изоляции, а на средних частотах («склон» кривой) можно получить данные о проводимости изоляционной жидкости.

Дальнейшая технология использования сверточных нейронных сетей и анализ данных на примере идентификации межвитковых коротких замыканий в трансформаторе представлены в статьях [5, 6]. Эта технология основывается на данных датчиков, представленных

в виде множества изменяющихся в реальном времени графиков отношений токов, напряжений, мощностей обмоток и т. д. Такой вид использования данных позволяет установить множественные взаимосвязи между отдельными факторами и, применяя нормированные данные, использовать их для быстрой настройки других диагностируемых трансформаторов.

Определение фактического состояния трансформаторов основано на измерении значений контролируемых параметров, которые либо сравниваются с аварийными уровнями, либо нейронная сеть сигнализирует о предаварийном состоянии. Организованный таким образом диагностический контроль имеет своей целью предотвращение аварийного отказа оборудования, определения его состояния и прогнозирование остаточного ресурса. Использование сверточных нейронных сетей в режиме реального времени позволяет классифицировать различные отклонения, диагностировать виды предаварийного и аварийного состояний.

Список литературы

1 ЮНИТЕР [Электронный ресурс] : офиц. сайт. – Гомель, 2022. – Режим доступа : <https://uniter.by/insights/>. – Дата доступа : 15.01.2022.

2 Датчик температуры. Chipdip [Электронный ресурс]. – Гомель, 2022. – Режим доступа : <https://www.chipdip.ru/product/8001774956>. – Дата доступа : 15.01.2022.

3 Паздников, И. Л. Определение короткозамкнутых витков в обмотках трансформаторов и дросселей / И. Л. Паздников // Радио. – 1990. – № 7. – С. 68–69.

4 Omicron [Электронный ресурс] / Диагностические испытания и мониторинг силовых трансформаторов. – Гомель, 2022. – Режим доступа : <https://www.omicronenergy.com>. – Дата доступа : 03.01.2022.

5 Пехота, А. Н. Диагностирование межвитковых коротких замыканий трансформаторов с помощью комплексного анализа данных приборного учета / А. Н. Пехота, В. Н. Галушко, И. Л. Громыко // Энергоэффективность. – 2020. – № 2. – С. 24–28.

6 Пехота, А. Н. Диагностика трансформаторов с помощью сверточных нейронных сетей / А. Н. Пехота, В. Н. Галушко, И. Л. Громыко // Энергоэффективность. – 2021. – № 2. – С. 30–36.

Получено 01.02.2022

I. L. Gromyko, V. O. Belkin, V. N. Galushko. Diagnostic complex of transformers and technology of its application using convolutional neural networks.

Methods for diagnosing various transformer defects and a method for their classification using convolutional neural networks are considered. The use of neural network data will allow in real time to analyze information, classify various deviations and diagnose defects. The diagnostic control organized in this way is aimed at preventing an emergency failure of the equipment, determining its condition and predicting the residual life. The use of convolutional neural networks in real mode allows you to classify various deviations, diagnose types of pre-emergency and emergency conditions.

ПОДГОТОВКА КАДРОВ

УДК 81'271:656.08

*Н. А. ГРИШАНКОВА, кандидат филологических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель***АНАЛИЗ ПОТРЕБНОСТИ СПЕЦИАЛИСТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ
В ЧТЕНИИ ЛИТЕРАТУРЫ НА ИНОСТРАННЫХ ЯЗЫКАХ**

Рассмотрена роль чтения на иностранном языке в профессиональной деятельности специалистов с техническим образованием. Изучены некоторые виды чтения, которым необходимо научить студентов в первую очередь с точки зрения практической важности и необходимости для их будущей работы. Показано, какое место занимает чтение на иностранном языке в профессиональной деятельности выпускников технических учреждений высшего образования. Определены виды специальной литературы, которую читают специалисты чаще всего.

Стремительное развитие науки и техники, непрерывный поток научной информации во всех отраслях знаний ставят специалистов перед необходимостью постоянно пользоваться литературой на иностранном языке в профессиональных целях.

При отсутствии иноязычной среды книга становится одним из главных обучающих средств, особенно во взрослой аудитории, где привычка обращаться к печатному слову как к источнику информации особенно сильна. Чтение на иностранном языке как вид коммуникации ничем не отличается от чтения на родном языке. Однако при чтении на иностранном языке прибавляется существенная трудность – языковой барьер, который приходится преодолевать.

Обучение взрослых обычно осуществляется в сжатые сроки. Методика его должна быть экономичной, целенаправленной и высоко результативной. Эффективность чтения иноязычных специальных материалов зависит от подготовленности читателя в области иностранного языка [1, 2, 8, 9].

Ещё Л. В. Щерба, говоря об обучении взрослых, подчеркивал, что для взрослого чтение является основным способом научиться языку. По мнению Е. Н. Драгуновой, Г. И. Краснощековой, М. И. Раук, взрослые, пользуясь своими аналитическими возможностями, при условии рациональной и научной системы обучения, не только могут овладеть иностранным языком, но и делают это лучше и глубже в сжатые сроки.

Обилие информации и необходимость своевременного знакомства с ней, для того чтобы быть в курсе всех новых достижений в той или иной области науки или техники, требуют от специалистов умения извлекать необходимую в каждом конкретном случае информацию наиболее экономным путем, то есть избирательно использовать тот или иной вид чтения. Поэтому в процессе обучения иностранному языку в неязыковом учреждении высшего образования должна быть предусмотрена подготовка будущих специалистов к тем случаям работы со специальной литературой на иностранном языке, которые будут наиболее часто возникать в процессе их профессиональной деятельности. Для этого предлагается обучение изучающему; ознакомительному, просмотровому и поисковому чтению на иностранном языке, то есть тем его видам, которые обслуживают основные цели обращения к специальной литературе [3, 5–7].

До сих пор однако нет конкретных данных относительно того, какие цели чтения специальной литературы на иностранном языке встают перед специалистами чаще всего и, соответственно, какими видами чтения им приходится пользоваться для их достижения.

Уточнение названных вопросов и получение соответствующих данных может способствовать конкретизации основных объектов и последовательности работы по обучению чтению на иностранном языке в неязыковом учреждении высшего образования. Учитывая ограниченные сроки обучения иностранному языку в этих учебных заведениях, важно подготовить будущих специалистов прежде всего к наиболее необходимым видам чтения на изучаемом языке, которые потребуются им в их профессиональной деятельности после окончания учреждения высшего образования. Поэтому следует выяснить, каким (или какому) видам чтения необходимо научить студентов в первую очередь с точки зрения практической важности и необходимости для их будущей работы (помимо чисто методических соображений).

Кроме названных вопросов требуется определить, какое место занимает чтение на иностранном языке в профессиональной деятельности специалистов с техническим образованием и какие виды специальной литературы на иностранном языке им приходится читать чаще всего. Определение последних позволит предусмотреть использование текстов-аналогов выявленных видов литературы в учебных пособиях.

С целью выяснения перечисленных вопросов был проведен анкетный опрос (инженеров, магистрантов, аспирантов и т. п.), то есть специалистов, имеющих высшее профессиональное образование, определенный профессиональный опыт, в возрасте периода ранней взрослости и «периода достижений» [4], когда личность использует интеллектуальные способности, чтобы построить карьеру и избрать стиль жизни, уже имея за плечами определенный социальный, учебный, профессиональный опыт. Всего было опрошено 140 человек, причем это были люди, которые действительно читают специальную литературу на иностранном языке, то есть пользуются приобретенными знаниями изученного языка на практике.

Вопрос о роли чтения на иностранном языке в профессиональной деятельности специалистов с техническим образованием интересовал нас в самых общих чертах, для подтверждения того, что чтение на изучаемом языке действительно важно и необходимо для

окончивших неязыковое учреждение высшего образования. Поскольку если бы это было не так, то отпадал бы вопрос о необходимости владения конкретными видами чтения на иностранном языке и обучения им в неязыковом учреждении высшего образования.

Выяснение этого вопроса предусматривалось в анкете как с теоретической точки зрения (считают ли специалисты чтение важным для них видом речевой деятельности), так и с практической (действительно ли специалисты с техническим образованием пользуются чтением на иностранном языке в профессиональных целях). С этой целью в анкету были включены три вопроса.

Первый вопрос: Считаете ли вы, что знание иностранного языка необходимо для специалиста с техническим образованием? Почему?

На первый вопрос подавляющее большинство опрошенных (137 человек из 140) ответили положительно (п = 137 (100 %)).

Статистический анализ случаев использования иностранного языка в профессиональных целях позволил выделить эффективную причину его применения (таблица 1).

Таблица 1 – Статистический анализ случаев использования иностранного языка в профессиональных целях

Причина использования иностранных источников	Количественное соотношение	
	человек	%
1 Своевременное получение информации о новейших зарубежных достижениях	61	44,53
2 Чтение литературы по специальности	49	35,77
3 Расширение кругозора	14	10,22
4 Общение с иностранными специалистами	11	8,03
5 Подбор материала для научной работы	2	1,46

Второй вопрос: Что, с вашей точки зрения, является важнейшим для специалиста с техническим образованием: говорение на иностранном языке, чтение, понимание на слух, письмо?

Каждый опрошиваемый мог дать несколько ответов (п = 136 (100 %)).

Статистический анализ видов речевой деятельности позволил выделить наиболее важный её вид (таблица 2).

Таблица 2 – Статистический анализ видов речевой деятельности

Виды речевой деятельности	Назвали в качестве наиболее важного вида речевой деятельности	
	человек	%
Чтение	120	88,24
Говорение	15	11,03
Понимание на слух	10	7,35
Письмо	3	2,21
Перевод ¹⁾	11	8,09

Третий вопрос: Пользуетесь ли вы вашими знаниями иностранного языка в настоящее время? Да, нет. В какой форме: читаете, говорите, пишете, просматриваете письма (спецификации).

Каждый опрошиваемый мог дать несколько ответов.

Статистический анализ основного и других видов речевой деятельности позволил выделить важнейший её вид (таблица 3).

Полученные данные подтвердили тот факт, что знание иностранного языка необходимо для специалистов с техническим образованием, и эти знания чаще всего используются для чтения специальной литературы. Чтение не только теоретически признается специалистами важным видом речевой деятельности, но и практически применяемым и чаще всего используемым в профессиональных целях.

Таблица 3 – Статистический анализ основного и других видов деятельности

Виды речевой деятельности	Назвали в качестве основного вида речевой деятельности		Назвали в числе других видов речевой деятельности	
	человек	%	человек	%
Чтение	80	64,0	115	92,0
Просмотр писем	9	7,20	33	26,40
Говорение	0	0	12	9,60
Письмо	0	0	12	9,60
Перевод ¹⁾	0	0	7	5,60

Для выявления видов чтения, которыми пользуются специалисты при чтении литературы на иностранном языке в профессиональных целях, в анкете предусматривались две группы вопросов, с помощью которых предполагалось выяснить:

- пользуются ли специалисты несколькими видами чтения на иностранном языке или только одним;
- какими видами чтения пользуются специалисты при чтении технической литературы на иностранном языке.

Для выявления первого пункта в анкету были включены следующие вопросы:

– Вы читаете всю литературу на иностранном языке а) одинаково, б) по-разному?

– Переводите ли вы текст для того, чтобы его понять? Да, нет. Всегда, иногда, отдельные места.

Из 97 человек, давших ответы на эти вопросы²⁾, читают специальную литературу на иностранном языке по-разному 93 человека (95,88 %), одинаково – 4 человека (4,12 %).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что подавляющее большинство опрошенных владеют умением читать по-разному, то есть владеют различными видами чтения, что является показателем их зрелости как читателей. Специалисты, давшие противоречивые ответы, хотя фактически и не умеют читать по-разному, то есть не владеют различными видами чтения, невольно пытаются выдать желаемое за действительное, и их ответы свидетельствуют о признании ими необходимости владения этим умением.

На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- знание иностранного языка является необходимым для специалистов с техническим образованием, и при этом чтение специальной литературы на иностранном языке является для них важным и часто используемым видом речевой деятельности;

- при работе с научно-технической литературой специалисту необходимо умение читать по-разному, то есть владеть различными видами чтения;

¹⁾Добавлено в анкету специалистами.

²⁾При подсчете ответов на эти и другие вопросы анкеты считались соответствующими действительности и учитывались ответы только тех опрошенных, которые дали аналогичные ответы на близкие к сути вопросы; противоречивые ответы в расчет не принимались.

– по своему предметному содержанию научный текст по специальности полностью удовлетворяет профессиональным интересам инженеров, студентов, магистрантов, аспирантов и является надежным и удобным источником профессионально значимой информации;

– профессионально ориентированная направленность в обучении иностранному языку способствует развитию познавательного интереса в получении новой информации, необходимой будущему специалисту.

Список литературы

1 Беспальчикова, Е. В. Обучение анализу текстов / Е. В. Беспальчикова // Иностранные языки в школе. – 2002. – № 2. – С. 52–55.

2 Гришанкова, Н. А. К вопросу подготовки магистрантов в техническом вузе / Н. А. Гришанкова, М. И. Дроздова // Теория и практика профессионально ориентированного обучения иностранным языкам : материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 14–16 мая 2015 г. / редкол. Е. М. Дубровенко (гл. ред.), Н. А. Круглик. – Минск : Междунар. ун-т «МИТСО». – С. 29–32.

3 Гришанкова, Н. А. Психологические особенности понимания слов при беспереводном чтении в группе аспирантов / Н. А. Гришанкова // Иноязычное образование: психолого-педагогический, методический, лингвистический аспекты : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Барановичи, 13 мая

2005 г. / редкол.: Л. В. Силицкий (гл. ред.) [и др.]. – Барановичи : БарГУ, 2005. – С. 160–164.

4 Крайг, Г. Психология развития / Г. Крайг. – СПб., 2000. – С. 99–278.

5 Крупченко, А. К. Профессиональная лингводидактика / А. К. Крупченко // Высшее образование в России. – 2006. – № 5. – С. 158–160.

6 Образцов, П. И. Профессионально ориентированное обучение иностранному языку на неязыковых факультетах вузов: учеб. пособие / П. И. Образцов, О. Ю. Иванова. – Орел, 2005. – 114 с.

7 Тер-Минасова, С. Г. Иностранный язык для неязыковых вузов и факультетов (примерная программа) [Электронный ресурс] / С. Г. Тер-Минасова, Е. Н. Соловова. – Режим доступа : http://www.vgsa.ru/facult/ecc/kaf_cgd/doc/languge_prl.pdf. – Дата доступа : 25.02.2015.

8 Хоменко, С. А. К вопросу обучения иностранному языку в системе послдипломного образования / С. А. Хоменко, В. Ф. Скалабан, С. П. Личевская // Непрерывное обучение иностранным языкам: опыт и перспективы : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 21–22 декабря 2004 г. : в 2 ч. Ч. 2 / отв. ред. Н. П. Баранова. – Минск : МГЛУ, 2004. – С. 248–251.

9 Ширяева, М. Ю. К вопросу о методах обучения взрослого населения в Республике Беларусь / М. Ю. Ширяева // Акмеология национального образования и её место в системе формирования зрелой личности : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 22–23 ноября 2012 г. / Гом. обл. ин-т развит. обр. ; редкол.: Н. В. Кухарев (отв. ред.) [и др.]. – Гомель, 2012. – С. 284–286.

Получено 06.04.2022

N. A. Grishankova. Analysis of the needs of technical specialists in reading literature in a foreign language.

The role of reading in a foreign language in the professional activity of specialists with technical education is considered. Some types of reading that need to be taught to students in the first place in terms of practical importance and necessity for their future work have been studied. It is shown what place reading in a foreign language takes in the professional activity of graduates of technical institutions of higher education. The types of special literature that specialists read most often are determined.

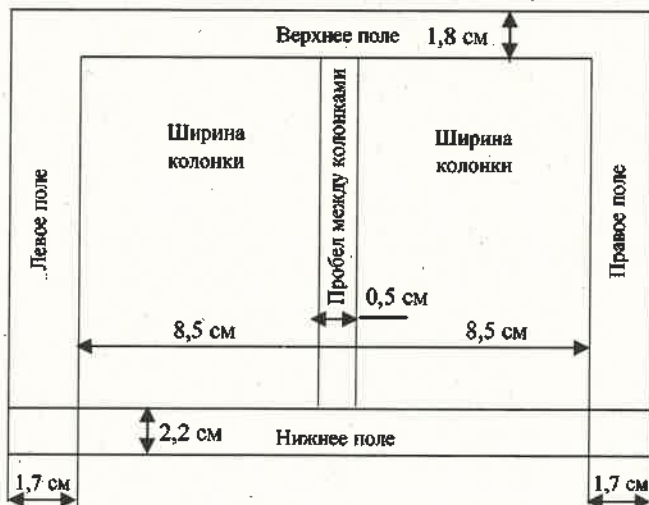
ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Статьи, направляемые в редакцию журнала «Вестник БелГУТа: Наука и транспорт», должны соответствовать следующим требованиям.

1 Материал статьи должен отражать профиль журнала и излагаться предельно ясно на белорусском или русском языке. На оборотной стороне последнего листа ставится подпись автора (авторов) и указывается название рубрики, к которой относится статья.

2 Статья должна быть представлена в одном экземпляре на бумажном носителе [для иногородних – по почте (адрес электронной почты: tatiana-101@list.ru)] и тщательно отредактирована. Одновременно текст статьи представляется в формате текстового редактора MS Word в виде обычного текстового файла – по фамилии автора (авторов), гарнитура шрифта – Times New Roman.

3 Текст статьи должен быть оформлен в соответствии с ГОСТ 7.5–98 «Журналы, сборники, информационные издания. Издательское оформление публикуемых материалов», ГОСТ 2.105–95 «Межгосударственный стандарт. Общие требования к текстовым документам» и напечатан на белой бумаге формата А4 на лазерном принтере. Объем статьи – 0,35 авторского листа (14000 печатных знаков, включая пробелы между словами, знаки препинания и др.), т. е. не более трех полных страниц текста формата А4, напечатанного в две колонки размером шрифта (кегель) 10 pt по следующему образцу:



4 Текст статьи должен содержать:

– в левом верхнем углу первой страницы – индекс УДК размер шрифта – 10 pt).

– через интервал на формат 17,5 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 светлым строчной), которое размещается под ним (например: Рисунок 1 – Схема управления электродвигателя). Надписи на самих рисунках набирают шрифтом 9 pt. Размещают рисунок после ссылки на него в тексте. Сканированные рисунки редколлегией не принимаются.

7 Таблицы (не более 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.

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

Подписано в печать 30.06.2022 г. Формат 60×84¹/₈. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 11,62. Уч.-изд. л. 12,14. Тираж 100 экз. Изд. № 40. Зак. № 1840.

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